



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Análise da adequação de softwares de benchmark para mensuração de desempenho de microcomputadores

Bruno Rocha Lima
Eduardo Taitson Moreira

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Orientador
Prof. Dr. Wilson Henrique Veneziano

Brasília
2014

Universidade de Brasília — UnB
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Curso de Computação — Licenciatura

Coordenador: Prof. Dr. Wilson Henrique Veneziano

Banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Wilson Henrique Veneziano (Orientador) — CIC/UnB

Prof.^a Dr.^a Germana Menezes da Nóbrega — CIC/UnB

Prof. Dr. Eduardo Adilio Pelinson Alchieri — CIC/UnB

CIP — Catalogação Internacional na Publicação

Lima, Bruno Rocha.

Análise da adequação de softwares de benchmark para mensuração de desempenho de microcomputadores / Bruno Rocha Lima, Eduardo Taitson Moreira. Brasília : UnB, 2014.

149 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

1. benchmark, 2. processador digital, 3. desempenho

CDU 004.4

Endereço: Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro — Asa Norte
CEP 70910-900
Brasília-DF — Brasil



Universidade de Brasília

**Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação**

Análise da adequação de softwares de benchmark para mensuração de desempenho de microcomputadores

Bruno Rocha Lima
Eduardo Taitson Moreira

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Prof. Dr. Wilson Henrique Veneziano (Orientador)
CIC/UnB

Prof.^a Dr.^a Germana Menezes da Nóbrega Prof. Dr. Eduardo Adilio Pelinson Alchieri
CIC/UnB CIC/UnB

Prof. Dr. Wilson Henrique Veneziano
Coordenador do Curso de Computação — Licenciatura

Brasília, 26 de agosto de 2014

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente a Deus. Aos meus pais, Paulo e Marta, que se esforçaram muito para que eu pudesse ter acesso a ensino de qualidade. Às minhas irmãs, Patricia e Clarissa, pelo companherismo e momentos de descontração. À minha noiva Dayanne por suportar minhas lamentações e me dar forças para continuar. À minha família que sempre estiveram me apoiando e incentivando nessa caminhada. E finalmente à "Galera da ADM" com quem aprendi muito... "A verdadeira sabedoria está em não parecermos sábios." (Ésquilo)

Bruno Rocha Lima

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais, Irene e Clineu, pois nunca mediram esforços para garantir meu acesso à educação de ponta e me incentivaram em cada passo desta jornada. Aos meus irmãos, Alexandre e Gustavo, pela sorte de tê-los para me acompanharem nesta vida e pelo apoio incondicional. À minha namorada, Sílvia, por me ajudar a encontrar forças quando eu pensava não mais as ter. Aos meus chefes Carol Andrade, Rodrigo Güércio e Roberto Brandão pela confiança depositada. E ao meu amado avô, Wilson, que numa destas infelizes coincidências da vida faleceu exatamente durante a elaboração desta dedicatória. Carregarei seus ensinamentos e sabedoria por toda a vida. "Não basta adquirir sabedoria; é preciso, além disso, saber utilizá-la." (Cícero)

Eduardo Taitson Moreira

Agradecimentos

Agradecemos ao professor Wilson Henrique Veneziano pela competência e disponibilidade para nos orientar e auxiliar durante todo o desenvolvimento deste estudo. Ao Rodrigo Rissio do Grupo Torino e à AMD que prontamente se disponibilizaram para o fornecimento dos equipamentos e componentes para criação do laboratório de testes. E a todos aqueles que nos apoiaram e contribuíram ao longo dessa jornada para concretização deste trabalho. Deixamos aqui o nosso muito obrigado!

Bruno Rocha Lima e Eduardo Taitson Moreira

Resumo

Este trabalho descreve as atividades de análise comparativa de softwares usados para avaliar o desempenho de hardware de computadores (benchmark). Foram realizados testes de laboratório para três softwares de benchmark comerciais mundialmente difundidos. Dois microcomputadores foram montados, tal que a única diferença relevante são os processadores. Os demais componentes de hardware foram mantidos constantes nas duas máquinas. Isso permitiu evidenciar algumas fragilidades e deficiências desses softwares de benchmark, o que pode levar a resultados incorretos de análise de desempenho de hardware.

Palavras-chave: benchmark, processador digital, desempenho

Abstract

This work describes the activities of comparing some software used to evaluate the performance of computer hardware (benchmark). Laboratory tests with three commercial benchmark software worldwide known were performed. Two microcomputers were fitted so the only relevant difference was the processor. The other hardware components were kept constant in the two settings. These testes have highlighted some weaknesses and deficiencies of these three benchmark software, which can lead to incorrect results about hardware performance analysis.

Keywords: benchmark, digital processor, performance

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Problema	2
1.2	Justificativa	2
1.3	Objetivo Geral	2
1.4	Objetivos Específicos	2
1.5	Revisão de Literatura	3
1.6	Estrutura do Texto	3
2	Breve História dos Dispositivos Computacionais	4
2.1	Primeira Geração (1945-1955)	4
2.2	Segunda Geração (1955-1965)	5
2.3	Terceira Geração (1965-1980)	6
2.4	Quarta Geração (1980-?)	6
2.5	Quinta Geração (Computadores “invisíveis”)	6
3	Principais Componentes de um Sistema Computacional	8
3.1	CPU (Unidade de Processamento Central)	8
3.2	Memória Principal	8
3.3	Memória Secundária	9
3.4	Entrada e Saída	11
4	Arquiteturas Modernas de Processadores	13
4.1	Tendências	13
4.1.1	Controlador de Memória Integrado à CPU	13
4.1.2	Unidade de Processamento Gráfico (GPU) Integrada à CPU	15
4.2	Família AMD <i>Richland</i>	18
4.3	Família Intel <i>Ivy Bridge</i>	19
5	Mensuração de Desempenho de Sistemas Computacionais	22
5.1	<i>Benchmarks</i> de Mercado	23
5.1.1	PCMark 8	23
5.1.2	PassMark 8	30
5.1.3	Sysmark 2012	33
6	Metodologia	38

7	Resultados e Discussão	43
7.1	Sysmark 2012	43
7.2	PCMark 8	45
7.3	PassMark 8	46
7.4	Análise Comparativa	46
8	Conclusão	47
	Referências	48
A	Apêndices - Resultados Detalhados dos Testes	1
A.1	Sysmark 2012	1
A.2	PCMark 8	8
A.3	PassMark 8	14

Lista de Figuras

2.1	Arquitetura de <i>Von Neumann</i> [32].	4
2.2	Barramento unificado [32].	5
3.1	Módulo de memória RAM DDR3 [15].	9
3.2	Discos e cabeçotes em um disco rígido [32].	10
3.3	Comparativo de discos rígidos [36].	11
3.4	Barramento de sistema [32].	12
4.1	Front Side Bus [33].	14
4.2	Controlador de Memória Integrado à CPU (IMC) [35].	14
4.3	APU AMD Llano die-shot [5].	15
4.4	Arquitetura Intel Sandy Bridge [39].	16
4.5	Percentual estimado com base na porção relativa que a GPU ocupa no processador [38].	16
4.6	SoC AMD Geode [4].	17
4.7	SoC Intel Bay Trail [29].	17
4.8	APU AMD <i>Richland Quadcore</i> [14].	18
4.9	Módulo <i>Piledriver</i>	19
4.10	Arquitetura Intel Ivy Bridge [37].	20
4.11	Microarquitetura Sandy Bridge [20].	21
5.1	Contribuição de cada aplicação ao <i>Overall Rating</i> no sistema de calibração [7].	35
6.1	Ambiente de testes 1.	41
6.2	Ambiente de testes 2.	42
7.1	<i>Sysmark Error</i> 1.	43
7.2	<i>Sysmark Error</i> 2.	44
A.1	AMD A6-6400 Sysmark 2012 (Office Productivity)	2
A.2	AMD A8-6500 Sysmark 2012 (Office Productivity)	3
A.3	AMD A10-6800 Sysmark 2012 (Office Productivity)	4
A.4	Intel Core i3-3220 Sysmark 2012 (Office Productivity)	5
A.5	Intel Core i5-3470 Sysmark 2012 (Office Productivity)	6
A.6	Intel Core i7-3770 Sysmark 2012 (Office Productivity)	7
A.7	AMD A6-6400 PCMark 8 (Work Accelerated)	8
A.8	AMD A8-6500 PCMark 8 (Work Accelerated)	9
A.9	AMD A10-6800 PCMark 8 (Work Accelerated)	10

A.10 Intel i3-3220 PCMark 8 (Work Accelerated)	11
A.11 Intel i5-3470 PCMark 8 (Work Accelerated)	12
A.12 Intel i7-3770 PCMark 8 (Work Accelerated)	13
A.13 AMD A6-6400 PassMark 8 (CPU)	14
A.14 AMD A6-6400 PassMark 8 (CPU) - Continuação	15
A.15 AMD A8-6500 PassMark 8 (CPU)	16
A.16 AMD A8-6500 PassMark 8 (CPU) - Continuação	17
A.17 AMD A10-6800 PassMark 8 (CPU)	18
A.18 AMD A10-6800 PassMark 8 (CPU) - Continuação	18
A.19 AMD A10-6800 PassMark 8 (CPU) - Continuação	19
A.20 Intel Core i3-3220 PassMark 8 (CPU)	20
A.21 Intel Core i3-3220 PassMark 8 (CPU) - Continuação	21
A.22 Intel Core i5-3470 PassMark 8 (CPU)	22
A.23 Intel Core i5-3470 PassMark 8 (CPU) - Continuação	23
A.24 Intel Core i7-3770 PassMark 8 (CPU)	24
A.25 Intel Core i7-3770 PassMark 8 (CPU) - Continuação	25

Lista de Tabelas

3.1	Especificações padrão da memória DDR3 [16].	9
4.1	AMD Richland [3].	18
4.2	Intel Ivy Bridge [24].	20
5.1	Requisitos do sistema [17].	25
5.2	Teste de navegação Web do PCMark 8 - detalhamento [17].	26
5.3	Teste de edição de texto do PCMark 8 - detalhamento [17].	27
5.4	Aplicações <i>Sysmark 2012 Office Productivity</i> [7]	34
5.5	Sensibilidade à frequência de CPU [7].	36
5.6	Sensibilidade aos núcleos/threads da CPU [7].	36
5.7	Sensibilidade a subsistema gráfico [7].	36
5.8	Sensibilidade à memória principal [7].	37
5.9	Sensibilidade à memória secundária [7].	37
6.1	Configuração dos computadores.	39
6.2	HP Compaq Pro 6300 [23].	40
6.3	HP Compaq Pro 6305 [2].	40
6.4	Benchmarks testados.	41
7.1	Resultados dos testes com Sysmark 2012.	44
7.2	Resultados dos testes com PCMark 8.	45
7.3	Detalhamento sub-teste PCMark 8.	45
7.4	Resultados dos testes com PassMark 8.	46

Capítulo 1

Introdução

Já há algum tempo, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) deixaram de ser um facilitador opcional do cotidiano de nossa sociedade, tendo passado a fazer parte da vida de qualquer cidadão. Atualmente, as facilidades e possibilidades proporcionadas pelas TICs são incessantemente buscadas, e as pessoas aguardam ansiosamente pela próxima inovação ou lançamento que irá expandir ainda mais os limites do ser humano. Lançamentos de novos *gadgets* são acompanhados por milhões de pessoas, sempre em busca de mais desempenho, eficiência e funcionalidades. Os motores de todo este desenvolvimento são a academia e a indústria de tecnologia, este último sempre em busca do lucro por meio da evolução ou revolução contínuas, a fim de superar seus concorrentes e conquistar os consumidores.

Com o alto investimento em pesquisas por parte de grandes fabricantes na área de tecnologia da informação (TI), os componentes de hardware vêm evoluindo rapidamente para atender às atuais demandas de software. *Gordon E. Moore*, ex-presidente da Intel, já previa que este crescimento ocorreria quando, em 1965, previu que o número de transistores dos *chips* teria um aumento de 100%, pelo mesmo custo, a cada período de 18 meses, surgindo assim a *Lei de Moore* [26]. Desde então, e principalmente nos últimos anos, novas arquiteturas vêm surgindo também como uma solução para novas aplicações de um ambiente em constante desenvolvimento e mudança.

Por trás do funcionamento e da capacidade técnica de cada dispositivo existe uma miríade de micro-componentes. Porém, um deles merece posição de destaque: o microprocessador. Este é o componente mais complexo de qualquer equipamento, pois é o responsável pelos milhões de cálculos por segundo que estão por trás das funcionalidades dos dispositivos. Também devido à complexidade, este é o componente que apresenta o rol mais restrito de fabricantes, os quais investem bilhões de dólares anualmente com o objetivo de tornar seus processadores mais eficientes. Apesar de seguirem certos padrões comuns, estes fabricantes utilizam arquiteturas e técnicas bastante díspares na construção de seus *chips*, buscando maximizar o desempenho, mantendo tamanho físico e consumo energético nos menores patamares possíveis.

Isto gera um problema: não há uma forma de comparar desempenho apenas com base nas especificações técnicas. Por isso, usualmente são utilizados softwares de *benchmark* para determinar e equiparar o desempenho de diferentes componentes de hardware independentemente de fabricante.

Para um dado software, a tendência é que seu desempenho melhore de acordo com o

avanço do hardware. Porém, este aumento de desempenho torna-se difícil de mensurar quando baseado em métricas subjetivas. Atualmente, os *benchmarks* existentes realizam testes sintéticos que não necessariamente retratam a experiência do usuário.

1.1 Problema

Com o aprimoramento das arquiteturas de processadores, tais como o aumento do número de núcleos, frequência e instruções por clock (IPC), memória cache, dentre outros, naturalmente há um ganho em desempenho nas aplicações, ou seja, os processadores se tornam capazes de executar mais operações por unidade de tempo. Porém, cada software aplicativo possui características específicas e que dependem de diferentes recursos do processador. Assim sendo, o avanço de uma determinada característica do processador não necessariamente irá torná-lo mais eficiente em todos os softwares.

A fim de comparar os avanços tecnológicos destes *chips*, foram desenvolvidas as ferramentas de *benchmark*. Contudo, um novo problema surgiu: o desempenho relativo entre dois processadores (mantido os demais componentes de hardware) varia drasticamente quando utilizados diferentes testes. Sendo assim, faz-se necessário identificar qual *benchmark* melhor mensura o desempenho dos processadores pela ótica do usuário final do equipamento.

1.2 Justificativa

A comparação entre equipamentos é algo cotidiano para consumidores e empresas conforme a necessidade de aquisição e atualização tecnológica. Devido à diversidade de fabricantes e modelos disponíveis no mercado, é preciso determinar qual deles melhor atende às necessidades de quem irá utilizá-lo.

1.3 Objetivo Geral

Analisar *benchmarks* comerciais, a fim de estudar como cada um deles compara os diferentes processadores quando se mantêm padronizados os demais componentes de hardware do sistema computacional, com o intuito de auxiliar os compradores quanto à utilidade e à veracidade dos dados gerados por estes softwares.

1.4 Objetivos Específicos

- Analisar e comparar os seguintes softwares de *benchmark*:
 - PCMark 8;
 - PASSMark 8;
 - Sysmark 2012.
- Determinar qual *benchmark* melhor reflete o desempenho de microcomputadores nas aplicações cotidianas;

- Identificar qual a melhor ferramenta de benchmark para amparar as decisões de compra de microcomputadores.

1.5 Revisão de Literatura

Foram procurados artigos científicos em diversos repositórios acadêmicos e *sites* de periódicos, a fim de aproveitar o conhecimento desenvolvido anteriormente. Foram utilizadas as palavras-chave “*Computer Benchmark*”, “Testes Computacionais”, “*Processor Performance*”, “*CPU Benchmark*”, “Desempenho Computacional” e “Desempenho Processador”.

Nas bases de dados IEEE, Scielo, CAPES e IBICT não foram encontrados artigos compatíveis com o objeto deste trabalho. Porém, no Google foi possível localizar duas teses que se mostraram de extrema valia.

A tese de doutorado de Xiaolan Zhang [40] foi apresentada na Universidade de Harvard, em 2001, e a profundidade de sua análise deve mantê-la relevante por muito tempo. Ela discorre sobre o desenvolvimento de *benchmarks* e como torná-los relevantes, tendo sido de especial importância para o Capítulo 5 deste trabalho. O estudo de Zhang dá ênfase especial ao desenvolvimento de *benchmarks* que visam mensurar o desempenho de equipamentos em aplicações específicas, por meio da incorporação de características destas aplicações nos testes desenvolvidos.

Já Christian Bienia [8] defendeu sua tese de doutorado na Universidade de Princeton, em 2011, tendo discorrido sobre a mensuração do desempenho de processadores de múltiplos núcleos. Assim como Zhang [40], ele enfatiza a importância de que os *benchmarks* sejam desenvolvidos com extremo cuidado para que usem aplicações representativas para o público-alvo, incluam versões atualizadas destas aplicações e tenham foco em multi-tarefa.

1.6 Estrutura do Texto

No capítulo 2 é feita uma breve recapitulação da história dos dispositivos computacionais baseados na Arquitetura de Von Neumann.

Na sequência, o capítulo 3 descreve os principais componentes dos sistemas computacionais e o papel de cada um deles.

No capítulo 4 são detalhadas as arquiteturas modernas de processadores, incluindo as tendências evolutivas e as arquiteturas AMD e Intel testadas neste estudo.

O capítulo 5 trata da mensuração de desempenho de sistemas computacionais e seus desafios, incluindo documentações detalhadas acerca de cada *benchmark* testado.

A metodologia de testes é detalhada no capítulo 6, incluindo o detalhamento dos *hardwares* e *softwares* utilizados.

A seguir, o capítulo 7 traz os resultados dos testes nos diversos equipamentos, incluindo discussões acerca de cada *benchmark* e do desempenho relativo entre os processadores estabelecido por cada um deles.

Por fim, o capítulo 8 apresenta as conclusões alcançadas pelo presente estudo.

Capítulo 2

Breve História dos Dispositivos Computacionais

Neste capítulo será tratado acerca da história dos dispositivos computacionais baseados na arquitetura de *Von Neumann*, a qual ainda serve como base para os computadores atuais, sejam *smartphones* ou supercomputadores. Buscou-se, assim, demonstrar a crescente diversificação em torno da arquitetura, o que culminou com diferenciações na evolução de arquiteturas como a Intel x86.

2.1 Primeira Geração (1945-1955)

Os dispositivos computacionais já há muito tempo se baseiam na arquitetura proposta por *Von Neumann* na década de 1940 (Primeira Geração de Computadores, os quais utilizavam válvulas e relés para constituir registradores). Seu objetivo era desenvolver um computador que pudesse armazenar em memória não apenas dados, mas também programas. Sua organização engenhosa pode ser observada na Figura 2.1.

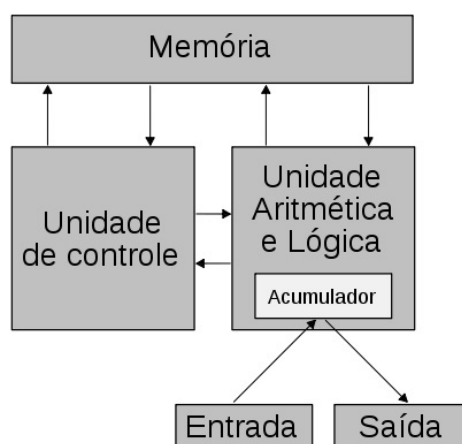


Figura 2.1: Arquitetura de *Von Neumann* [32].

- **Unidade Lógico-Aritmética (ULA):** Unidade especializada em realizar as operações elementares da aritmética;
- **Unidade de Controle (UC):** Unidade responsável pela sequenciação apropriada das operações;
- **Memória:** Dispositivo responsável pelo armazenamento de dados e programas;
- **Acumulador:** Registrador interno da ULA;
- **Entrada:** Barramento responsável pela transferência de dados da memória para a ULA;
- **Saída:** Barramento responsável pela transferência de dados da ULA para a memória.

A Unidade Central de Processamento (UCP), mais conhecida como CPU, é o resultado da união da Unidade Lógico-Aritmética (ULA) e da unidade de controle (UC), acrescida de registradores (memórias internas da CPU) e do contador de programas (PC). Tem como função executar programas que estão armazenados na memória principal, e para tanto ela busca as instruções do programa na memória, as examina e as executa sequencialmente [32].

2.2 Segunda Geração (1955-1965)

Com a invenção do transistor em 1948 por *John Bardeen*, *Walter Brattain* e *William Shockley* (*Bell Labs*), as válvulas puderam ser substituídas por algo muito mais eficiente e miniaturizado, marcando a segunda geração de computadores e culminando com a extinção das válvulas no fim da década de 1950. No início da década de 1960, a fabricante de computadores DEC lançou uma importante inovação: o barramento de comunicação unificado (Figura 2.2.)

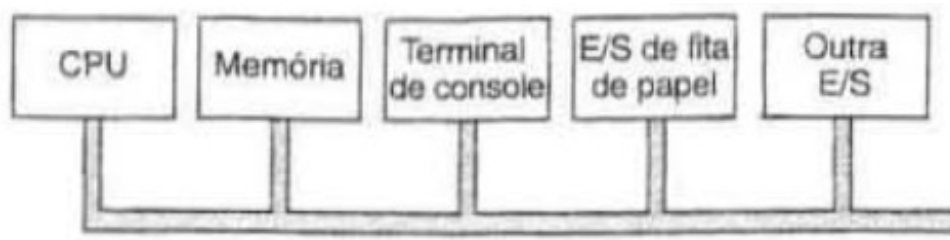


Figura 2.2: Barramento unificado [32].

Este barramento foi uma grande ruptura frente à arquitetura original de *Von Neumann*, a qual era centrada na memória, sendo então adotada por quase todos os computadores de pequeno porte e tornando a DEC a líder deste mercado.

Ainda em 1964, surgiu a primeira abordagem de paralelismo computacional de que se tem notícia: o CDC 6600, que ao ser lançado era uma ordem de grandeza mais rápido que o computador mais rápido disponível. Ele atingiu tal desempenho por meio de diversas

unidades funcionais independentes para adição, multiplicação e divisão, além de pequenos computadores internos para gerenciamento de *jobs* e I/O. O CDC 6600 iniciou a era dos supercomputadores e o nome de seu projetista, *Seymour Cray*, foi imortalizado em supercomputadores como o disponível hoje no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [12].

2.3 Terceira Geração (1965-1980)

Robert Noyce havia criado o circuito integrado em 1958, porém seus reflexos só foram vistos a partir de 1965 e definiram a terceira geração de computadores. Com a possibilidade de colocar dezenas de transistores em um único *chip*, fabricantes como a IBM atualizaram suas linhas de produtos radicalmente. Nesta geração, a IBM lançou também a multiprogramação, dotando seus equipamentos da capacidade de manter e executar vários programas na memória ao mesmo tempo. Enquanto determinado programa aguardava por uma operação de I/O para concluir seu processamento, outro podia ser executado, aumentando o aproveitamento da CPU.

Os equipamentos desta geração utilizavam em sua maioria arquiteturas de 16 bits, permitindo o endereçamento de até 64kb. Porém, a expansibilidade de memória se tornou uma barreira em meados dos anos 1980, motivando a IBM a adotar *32 bits* para endereçamento, o que gerou uma indesejada porém inadiável incompatibilidade com as gerações anteriores [32].

2.4 Quarta Geração (1980-?)

Na década de 1980, a VLSI (*Very Large Scale Integration*) permitiu que milhões de transistores fossem colocados em um único *chip*. Com esta miniaturização e a drástica redução de preços que ela gerou, começava então a era do computador pessoal. Inicialmente, estes computadores eram vendidos em kits, os quais normalmente incluíam o já famoso processador Intel 8080 [32]. Ao observar o rápido crescimento do mercado de computação pessoal, a IBM criou, então, o IBM-PC, baseado no Intel 8088, e este se tornou imediatamente um campeão de vendas. Para utilizar os processadores Intel em seus *Personal Computers* sem correr riscos de ficar refém de um único fornecedor, a IBM exigiu que a Intel licenciasse sua arquitetura para outro fabricante. Foi então que a AMD (*Advanced Micro Devices*), até então uma fabricante de *chips* menos complexos, obteve a licença para utilizar a arquitetura x86 [32].

2.5 Quinta Geração (Computadores “invisíveis”)

Caso se fosse definir uma data para o início da computação ubíqua ou pervasiva, esta seria 1993, com o lançamento do *Apple Newton*. Ele era um computador do tamanho de um toca-fitas portátil que usava reconhecimento de escrita, semelhante aos PDAs que o sucederam. Desde então, os computadores se miniaturizam gradual e aceleradamente, estando hoje presentes nos mais variados formatos como smartphones, óculos, pulseiras e anéis. Em breve eles serão “onipresentes”, realizando toda e qualquer tarefa do nosso cotidiano que possa ser automatizada [32].

O próximo capítulo trata dos principais componentes de um sistema computacional.

Capítulo 3

Principais Componentes de um Sistema Computacional

Os sistemas computacionais modernos se organizam em torno de quatro estruturas básicas, as quais operam em sincronia para realizar os processamentos necessários às aplicações: CPU, Memória Primária, Memória Secundária e Barramento(s) de Entrada e Saída.

3.1 CPU (Unidade de Processamento Central)

Como o próprio nome revela, a CPU (comumente denominada “processador”) é o “cérebro” e principal componente de um microcomputador. Sua função é executar os programas armazenados na memória principal buscando suas instruções, examinando-as e executando-as uma após a outra.

O processador é também o componente mais complexo de um computador, sendo dotado de memórias internas (*cache*), a fim de minimizar a necessidade de acesso às memórias primária e secundária, e podendo ser dotado de vários núcleos para a execução simultânea de várias *threads* [32].

Ao contrário dos demais componentes de um microcomputador, os quais utilizam arquiteturas padronizadas independentemente de seus fabricantes, os microprocessadores são baseados em arquiteturas radicalmente diferentes a depender de seu desenvolvedor. Devido a esta complexidade singular, será abordado mais a fundo sobre os processadores quando for tratado sobre as arquiteturas modernas AMD e Intel.

3.2 Memória Principal

A memória principal é o dispositivo onde se armazenam os programas em execução e seus dados. Denominada Memória RAM (*Random-Access Memory*), e de natureza volátil, ela só armazena informações enquanto estiver energizada. Ao se solicitar ao Sistema Operacional que o computador seja desligado, este salva na memória secundária eventuais dados importantes e após o desligamento o conteúdo da memória principal é perdido [32].

Todos os fabricantes de memória principal utilizam uma arquitetura padronizada pela JEDEC, sendo o padrão o DDR3. Os módulos variam basicamente em capacidade (2GB,

4GB, 8GB, ...), frequência de operação (1333MHz, 1600MHz, 1866MHz, ...) e latências (medidas em nanossegundos ou em ciclos de clock), além da qualidade dos microcomponentes e da fabricação [16]. A Tabela 3.1 traz as especificações do padrão DDR3-1600 conforme estabelecidas pela JEDEC, e um módulo de Memória RAM DDR3 padrão pode ser visto na Figura 3.1.

Tabela 3.1: Especificações padrão da memória DDR3 [16].

Standard Name	Memory Clock (MHz)	Cycle Time (ns)	I/O Bus Clock (MHz)	Data Rate (MT/s)	Modular Name	Peak Transfer Rate (MB/s)	Timings (CL-tRCD-tRP)	CAS Latency (ns)
DDR3-1600G DDR3-1600H DDR3-1600J DDR3-1600K	200	5	800	1600	PC312800	12800	8-8-8 9-9-9 10-10-10 11-11-11	10 11 $\frac{1}{4}$ 12 $\frac{1}{2}$ 13 $\frac{3}{4}$

Onde:

- CL: Ciclos de processamento entre o envio do endereço de uma coluna para a memória e o início da resposta com os dados;
- tRCD: Ciclos de processamento entre a ativação de uma linha e a leitura/escrita;
- tRP: Ciclos de processamento entre a pré-carga de uma linha e sua ativação.



Figura 3.1: Módulo de memória RAM DDR3 [15].

3.3 Memória Secundária

Apesar da sua alta eficiência ser indispensável para o desempenho dos microcomputadores, a memória principal sempre será pequena frente à necessidade das aplicações. Além disso, sua natureza volátil impede que seja utilizada para o armazenamento definitivo de programas ou dados. Devido a isto, faz-se necessária a memória secundária, na maioria dos casos representada por um HDD (*Hard-Disk Drive* ou *Disco Rígido*) composto por

discos de superfícies magnetizáveis. Um cabeçote ligado a uma bobina de indução flutua sobre o disco e, ao ser percorrido por uma corrente positiva ou negativa, magnetiza a superfície abaixo de si, alinhando as partículas magnéticas para a direita ou para a esquerda e realizando a escrita. Já para a leitura, ao passar sobre uma área magnetizada, a corrente elétrica positiva ou negativa é induzida sobre o cabeçote, que assim consegue ler o que está armazenado. A disposição relativa entre as superfícies e os cabeçotes pode ser visualizada na Figura 3.2.

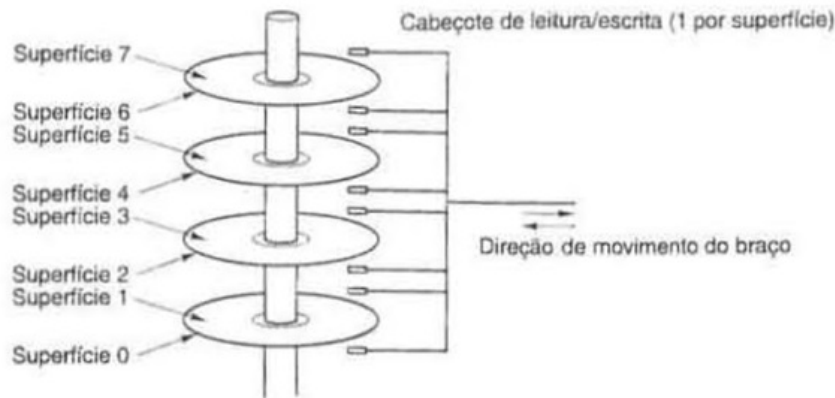


Figura 3.2: Discos e cabeçotes em um disco rígido [32].

Os discos rígidos foram lançados pela IBM em 1956 e desde então passaram por avanços diversos, mas ainda conservam a mesma estrutura básica [21]. Portanto, assim como a memória principal, os discos rígidos modernos se diferenciam basicamente quanto ao tempo de acesso (ou *seek time*, tempo médio que a cabeça de leitura/escrita leva para chegar até uma trilha), à capacidade de armazenamento (250GB, 500GB, 1TB, ...), velocidade de rotação dos discos (5400RPM, 7200RPM, 10000RPM, ...), capacidade de sua memória cache interna (8MB, 16MB, 32MB, ...) e padrão de conectividade (PATA, SATA, SCSI, ...). A Figura 3.3 exemplifica a diferenciação entre modelos de discos rígidos de um mesmo fabricante.

HDs para desktops/estações de trabalho	 WD Blue	 WD Green	 WD Black	 WD VelociRaptor
	Desempenho e confiabilidade sólidos para o seu computador de todos os dias.	Operação silenciosa para computação ecologicamente consciente e eficiente.	Máximo desempenho para uma informática potente.	Armazenamento de alto desempenho para usuários avançados.
Projetado para	Computador de mesa	Computador de mesa	Computador de mesa	Estação de trabalho
Capacidade	80 GB – 1 TB	500 GB – 4 TB	500 GB – 4 TB	250 GB – 1 TB
Interface:	SATA 6 Gb/s PATA 100 MB/s	SATA 6 Gb/s	SATA 6 Gb/s	SATA 6 Gb/s
Fator de forma	3,5 polegadas	3,5 polegadas	3,5 polegadas	3,5 polegadas 2,5 polegadas
Cachê	8 MB – 64 MB	64 MB	64 MB	64 MB
Garantia limitada	2 anos	2 anos	5 anos	5 anos

Figura 3.3: Comparativo de discos rígidos [36].

A título de comparação da eficiência das diversas memórias presentes em um microcomputador, registradores internos à CPU podem ser acessados em poucas unidades de nanossegundos; memórias cache da CPU demoram um pequeno múltiplo dos registradores; a memória principal leva poucas dezenas de ns; já a memória secundária, cerca de 10ms. Aliado às vantagens de cada uma, isto evidencia como o equilíbrio entre elas é indispensável para o funcionamento satisfatório de um microcomputador [32].

3.4 Entrada e Saída

A unidade de entrada e saída de dados (E/S) lida com o tráfego de informação proveniente de dispositivos externos (teclado, CD-ROM) para dentro do sistema e a partir deste para dispositivos externos (monitor, impressora). Por meio de um ou mais barramentos de sistema (conjuntos de fios que interligam os diversos componentes internos e as conexões com dispositivos externos), o processador e os demais dispositivos se comunicam entre si e com as memórias, conforme se observa na Figura 3.4 [32].

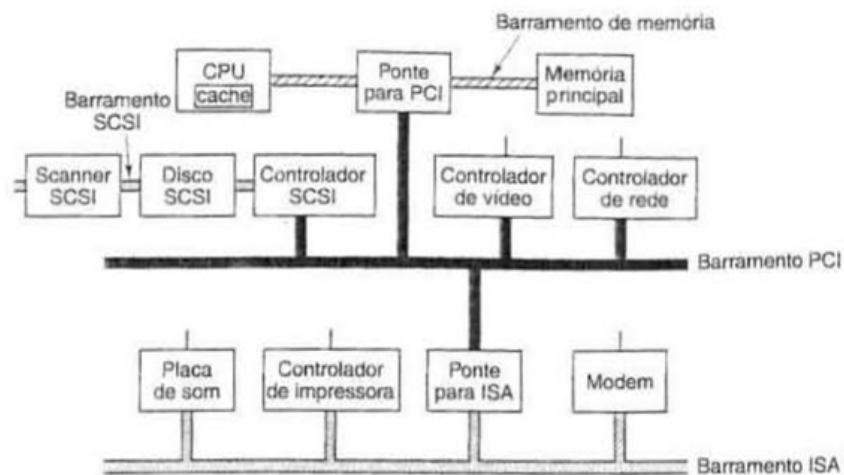


Figura 3.4: Barramento de sistema [32].

O próximo capítulo trata das arquiteturas modernas de processadores x86, objetos de estudo do presente trabalho.

Capítulo 4

Arquiteturas Modernas de Processadores

Conforme observado anteriormente, em 1982 a AMD obteve uma licença para produzir processadores utilizando a arquitetura x86, devido à exigência por parte da IBM de um segundo fornecedor para os processadores do IBM PC. Com o passar do tempo, a AMD percebeu que tinha capacidade técnica suficiente para aprimorar a arquitetura, o que culminou com o lançamento do K5 [11]. Desde então, AMD e Intel são responsáveis pela constante evolução da arquitetura, disputando este mercado por meio de um duopólio.

4.1 Tendências

Independentemente do fabricante, as arquiteturas x86 modernas compartilham algumas características, que estão descritas a seguir.

4.1.1 Controlador de Memória Integrado à CPU

Apesar de revolucionária, a arquitetura de *Von Neumann* apresenta um gargalo conhecido: o barramento único de comunicação entre a CPU e o restante do sistema. Até o ano de 2003, todas as arquiteturas x86 se utilizavam de um barramento compartilhado denominado *Front Side Bus* (FSB), o qual pode ser visto na Figura 4.1.

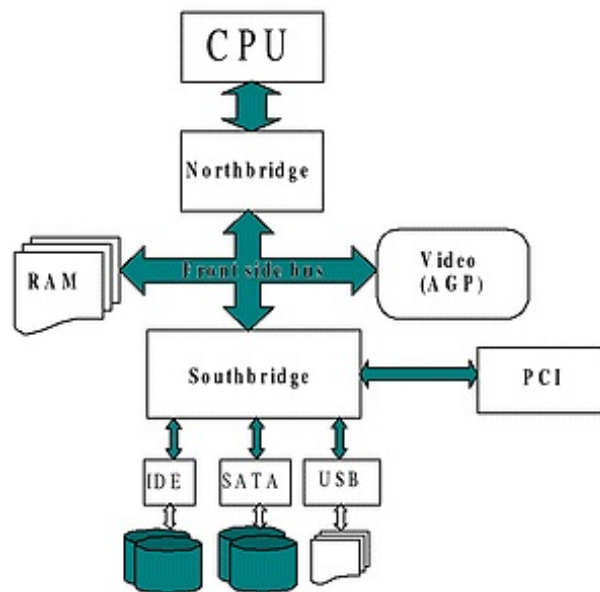


Figura 4.1: Front Side Bus [33].

Porém, o FSB se tornou um gargalo, obrigando os fabricantes a buscar soluções. Em 2001, a AMD anunciou uma nova arquitetura (*Hammer*), a qual integrava o controlador de memória à CPU e a dotava de canais dedicados para o acesso à memória principal [27]. O *Opteron64*, lançado em 2003, foi o primeiro processador a utilizar esta arquitetura [25]. Ele foi também o primeiro processador a suportar instruções de 64bits [22]. A Figura 4.2 traz um diagrama do acesso direto à Memória Principal.

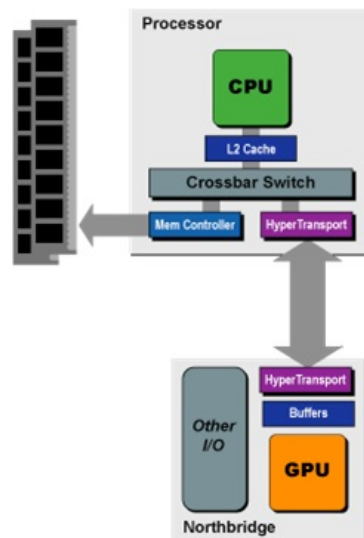


Figura 4.2: Controlador de Memória Integrado à CPU (IMC) [35].

Em 2008, a Intel também adotou uma conexão direta entre a CPU e a memória, denominada *QuickPath Interconnect* (QPI) [1].

4.1.2 Unidade de Processamento Gráfico (GPU) Integrada à CPU

Como se verifica no diagrama do IMC anterior, tradicionalmente a GPU se localizava no Chipset do microcomputador, mais precisamente na ponte norte (*Northbridge*). Assim como ocorria com o acesso à memória, este distanciamento gerava grande latência de comunicação entre CPU e GPU, prejudicando o trabalho conjunto entre os dois componentes. Além desta complexidade, esta separação elevava o custo de produção dos componentes. Em 2010, a AMD anunciou que sua próxima família de processadores (*Llano*) não seria mais denominada CPU, mas sim APU (*Accelerated Processing Unit*), e que uniria CPU e GPU em um mesmo silício [34].

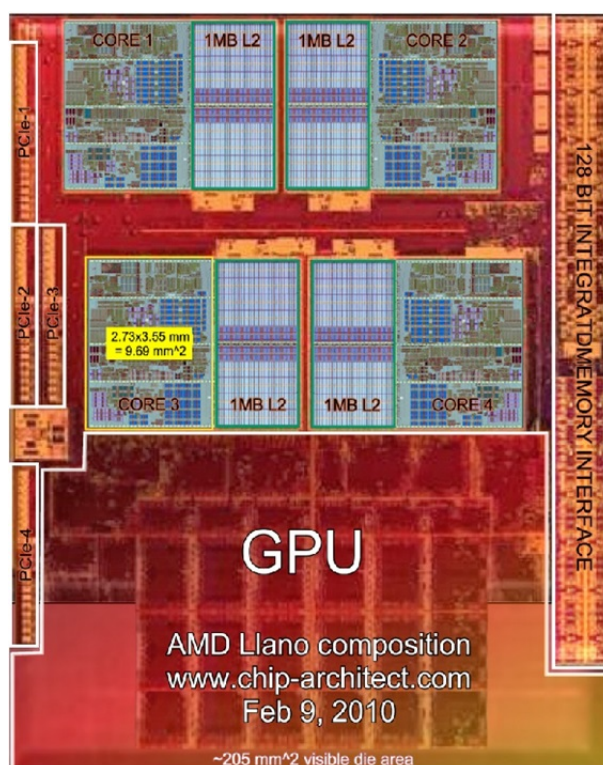


Figura 4.3: APU AMD Llano die-shot [5].

Nota-se na posição inferior da Figura 4.3 a controladora gráfica (GPU) integrada no mesmo silício dos núcleos de CPU.

Em 2011, a Intel lançou uma nova arquitetura, denominada *Nehalem*, a qual incorporou a GPU ao mesmo chip da CPU e cujo diagrama pode ser visto na Figura 4.4 [39].

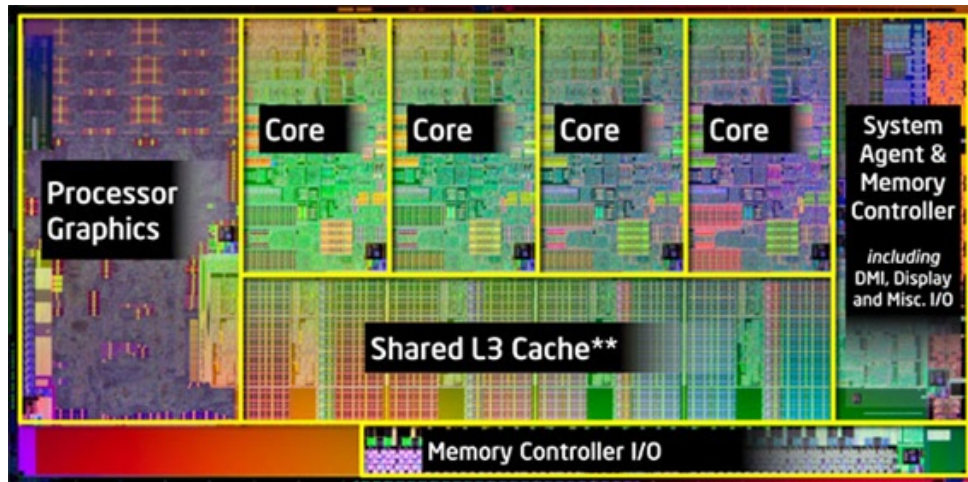


Figura 4.4: Arquitetura Intel Sandy Bridge [39].

Nota-se na porção esquerda da imagem a controladora gráfica (Processor Graphics) integrada no mesmo silício dos núcleos de CPU.

Desde então, ambos os fabricantes de processadores x86 vêm gradativamente elevando a relevância da controladora gráfica em seus processadores, como se observa na Figura 4.5.

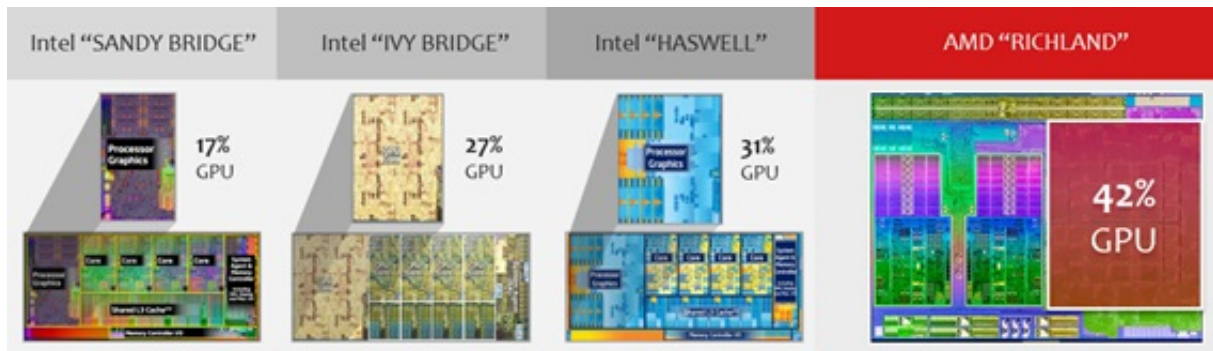


Figura 4.5: Percentual estimado com base na porção relativa que a GPU ocupa no processador [38].

Como se observa, a fim de elevar a eficiência energética, facilitar a intercomunicação/cooperação entre os diversos componentes e reduzir custos de produção, as arquiteturas x86 destinadas a microcomputadores caminham para uma integração cada vez maior entre “Processador” e “Chipset” tradicionais. Esta integração já ocorre há algum tempo em microprocessadores voltados para dispositivos ultraportáteis ou embarcados, sendo denominados *System-on-a-Chip* (Sistema em um só chip). Um exemplo são os processadores AMD *Geode* [4] e Intel *Bay Trail* [19], os quais podem ser vistos nas Figuras 4.6 e 4.7, respectivamente.

4.2 Família AMD *Richland*

Lançada em 2013, a terceira geração de APUs trouxe avanços incrementais frente à sua predecessora (*Trinity*), basicamente elevando as frequências da CPU e GPU e reduzindo o consumo energético. O tamanho do transistor (litografia) foi mantido igual à geração anterior. A Tabela 4.1 traz as especificações técnicas da família.

Tabela 4.1: AMD Richland [3].

Lançamento	Jun/2013
Soquete	FM2
Manufatura	32nm
Núcleos	2 ou 4
Memória Cache	96KB L1 por módulo Dualcore, 1MB L2 por CPU Dualcore, 4MB L2 por CPU Quadcore
Controladora de memória	Integrada, 2 canais, suporta módulos de até 1866 MHz
Barramentos	UMI 5 GT/s, PCI-Express 2.0
Sets de instruções	MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4, SSE4.1, SSE4.2, SSE4a, AES, ABM, AVX, BMI1, F16C, FMA3, FMA4, TBM, XOP, AMD64, AMD-V, IOMMU

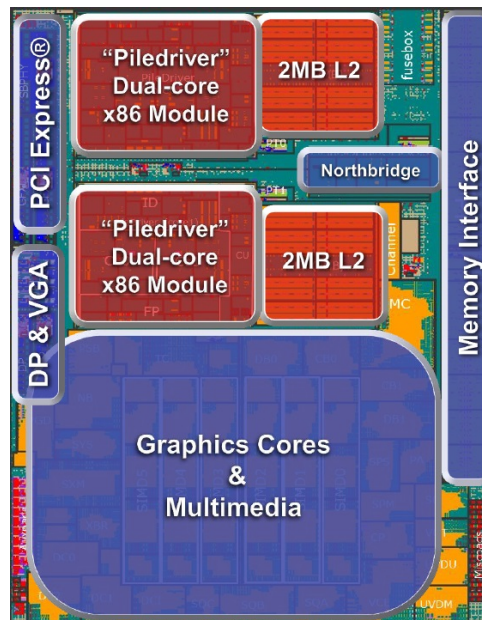


Figura 4.8: APU AMD *Richland Quadcore* [14].

Como se observa na Figura 4.8, os núcleos de CPU seguem a arquitetura *Piledriver*, sendo esta por sua vez a segunda geração da arquitetura de núcleos modulares iniciada pela *Bulldozer*. A Figura 4.9 mostra um diagrama simplificado de sua organização interna.



Figura 4.9: Módulo *Piledriver*.

Nota-se que cada módulo com dois núcleos x86 mantém individualizados os pipelines de processamento de inteiros, que são os mais utilizados pela maioria das aplicações, e compartilha aqueles de processamento de ponto flutuante.

O objetivo da AMD ao lançar a arquitetura modular foi encontrar um “caminho do meio” entre núcleos 100% individuais (CMP) e a utilização de um único núcleo para executar duas *threads* simultaneamente (SMT). A abordagem SMT é a utilizada pela Intel no seu *Hyperthreading*, porém a complexidade adicional traz desvantagens como o aumento do tamanho do *die* (chip) e do tempo de execução de cada ciclo [18].

4.3 Família Intel *Ivy Bridge*

Tradicionalmente, a Intel atualiza suas arquiteturas alternando fases que denominam “*Tick-Tock*”, onde o “*Tick*” é uma redução no tamanho do transistor (litografia) e o “*Tock*” é uma nova arquitetura utilizando a mesma litografia da família anterior. Seguindo este modelo, o *Ivy Bridge* seria um “*Tick*”, pois utiliza a mesma arquitetura que o precedeu (*Sandy Bridge*) com pequenas melhorias incrementais, reduzindo o transistor de 32nm para 22nm. Porém, devido às diversas melhorias implementadas nesta geração, especialmente em relação à controladora gráfica, a Intel considera o *Ivy Bridge* um “*Tick+*” [37]. A Tabela 4.2 traz as especificações técnicas desta família.

Tabela 4.2: Intel Ivy Bridge [24].

Lançamento	Jun/2012
Soquete	1155
Manufatura	22nm
Núcleos	2 ou 4
Memória Cache	(64KB L1 + 256KB L2)/núcleo, 3MB L3 por CPU Dual-core, 6MB L3 por CPU Quadcore
Controladora de memória	Integrada, 2 canais, suporta módulos de até 1600 MHz
Controladora gráfica	Integrada, OpenGL 4.0, DirectX 11, OpenCL 1.1, até 3 monitores
Barramentos	DMI 5 GT/s, PCI-Express 3.0
Sets de instruções	MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4, SSE4.1, SSE4.2, AES, AVX, F16C, EM64T, VT-x, VT-d

Esta arquitetura utiliza um *ring bus* (“barramento em anel”) para a intercomunicação entre suas estruturas internas, tais como memória principal (IMC), memória cache (LLC) e controladora gráfica, como se observa na Figura 4.10

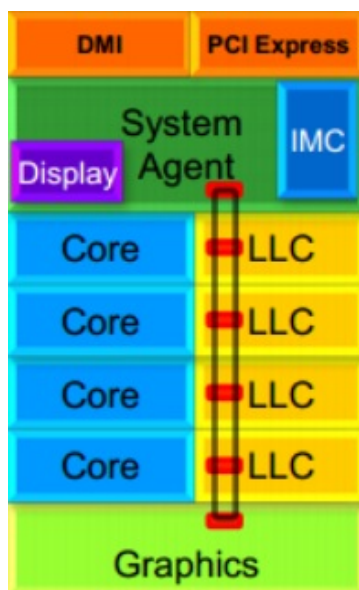


Figura 4.10: Arquitetura Intel Ivy Bridge [37].

Conforme já mencionado, os núcleos de CPU mantêm a arquitetura *Sandy Bridge*. A Figura 4.11 mostra um diagrama da microarquitetura.

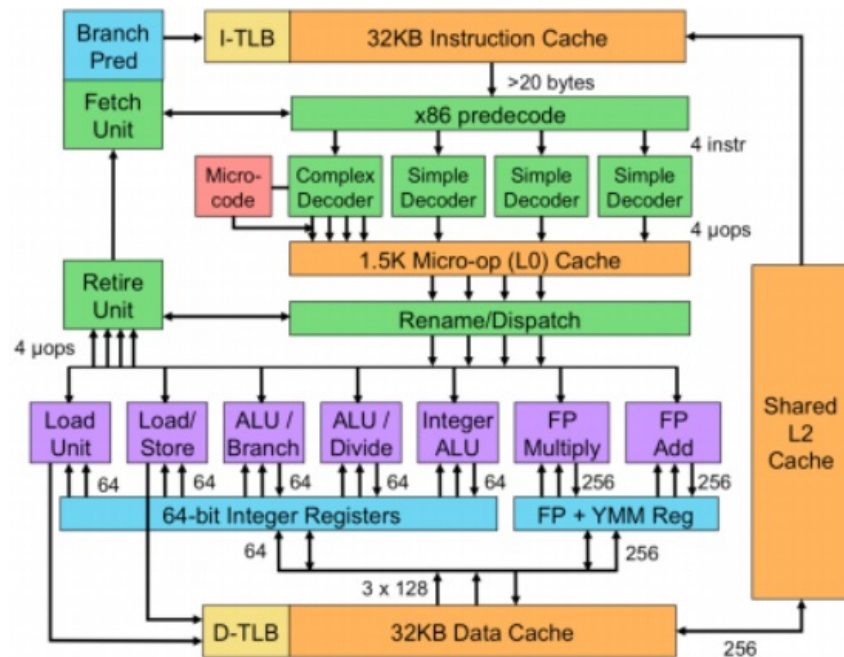


Figura 4.11: Microarquitetura Sandy Bridge [20].

Conforme observado anteriormente, o *Ivy Bridge* se diferencia de um “*Tick*” tradicional por não se tratar apenas de uma redução no tamanho do transistor. Além desta evolução, as principais melhorias foram na GPU, como o suporte a *DirectX 11* (frente ao DX 10.1 no *Sandy Bridge*), o aumento do IPC (Instruções por Clock), avanços no gerenciamento de energia e o suporte a 3 monitores (frente a 2 no *Sandy Bridge*) [37].

O próximo capítulo aborda a mensuração de desempenho de sistemas computacionais e seus desafios inerentes.

Capítulo 5

Mensuração de Desempenho de Sistemas Computacionais

“Na indústria de computadores existem três tipos de mentiras: pequenas mentiras, grandes mentiras e benchmarks”
- Autor Desconhecido [40]

Um *benchmark* é definido como um conjunto de programas (ou micro-programas) que são executados em diferentes sistemas computacionais para medir seu desempenho. Os resultados de *benchmarks* padrão, portanto, apenas refletem o desempenho do sistema naquele conjunto de aplicações [40].

Em pesquisas relacionadas à ciência da computação, um método frequente para conduzir experimentos científicos e analisar sistemas computacionais é o uso de *benchmarks*. Para utilizá-los, deve-se estudar a execução dos programas de *benchmark*, os quais são uma representação dos programas de interesse. É necessário que o comportamento das cargas de trabalho escolhidas descreva com precisão suficiente os programas de interesse, o que significa que os fluxos de instruções resultantes devem ser representativos [8].

Porém, na realidade, há frequentemente uma incompatibilidade entre os programas contidos nos *benchmarks* e as aplicações reais. Consequentemente, os resultados destes testes podem ser irrelevantes ou mesmo levar a conclusões errôneas. Pode-se citar duas causas comuns desta lacuna.

Primeiramente, o conjunto de programas incluídos nos *benchmarks* é fixo. Porém, as aplicações utilizadas pelos usuários finais variam imensamente. Portanto, com frequência, os programas incluídos em *benchmarks* tradicionais não são representativos do rol de aplicações com as quais os usuários se importam. Este problema ainda pode ser agravado por otimizações feitas por fabricantes especificamente para determinado *benchmark*. Quando um destes testes adquire determinada relevância a ponto de influenciar as decisões de compra, é frequente que fabricantes passem a desenvolver seus componentes visando melhor desempenho neste teste, e para isso chegam a prejudicar inclusive o desempenho em aplicações reais. A título de exemplo, podemos citar o *Sysmark*, um dos *benchmarks* para microcomputadores testados no presente estudo [10] e o *3DMark*, um teste de desempenho voltado para dispositivos ultraportáteis como celulares e tablets [28].

Em segundo lugar, conforme prossegue a tendência de evolução exponencial na velocidade do hardware e complexidade do software, os *benchmarks* estão constantemente desatualizados devido a fatores técnicos e econômicos. Conforme cresce a complexidade

das aplicações, cresce também o custo de desenvolvimento dos testes de desempenho. Como consequência, o ciclo de desenvolvimento de tais testes também é estendido. O resultado é que os *benchmarks* frequentemente perdem esta corrida tecnológica e representam cargas de trabalho antigas [13].

Existem dois tipos de *benchmarks*: *microbenchmarks* e *macrobenchmarks*. Os primeiros medem o desempenho em operações primitivas de hardware ou software, como o tempo para buscar um dado em memória ou desenhar uma linha em um gráfico. Apesar de úteis para comparar o desempenho de diferentes sistemas em operações básicas, dificilmente seus resultados podem ser relacionados com o desempenho em aplicações reais. Já os *macrobenchmarks* consistem de um ou mais programas de complexidade média/grande, estes usualmente derivados de programas reais. Sendo assim, seus resultados podem ser um bom indicativo do desempenho real do sistema, caso as cargas do teste sejam próximas daquelas executadas pelos programas de interesse [40].

5.1 *Benchmarks* de Mercado

A seguir, serão abordados alguns benchmarks frequentemente usados nos mercados corporativo e entusiasta.

5.1.1 PCMark 8

O PCMark é um *macrobenchmark* para o sistema operacional Windows, desenvolvido pela empresa Futuremark com o objetivo de testar o desempenho de microcomputadores e direcionado aos mercados doméstico e corporativo. Fundada em 1997 como "Futuremark" por membros do antigo grupo Future Crew, a empresa é a líder na produção de aplicativos de *benchmark* para computadores do mundo. Seu software é utilizado por mais de 250 revistas da área de informática e tem sido igualmente bem sucedido dentro da comunidade de jogos [17].

A primeira versão, PCMark2002, foi lançada em março de 2002 com objetivo de testar o desempenho dos seguintes componentes em ambientes Windows XP, 2000, Millenium, 98 SE e 98:

- CPU;
- Memória Principal;
- Disco Rígido (Memória Secundária);
- Estresse de sistema;
- Windows XP 2D;
- Desempenho de codificação e decodificação de vídeo;
- Qualidade de reprodução de DVD;
- Duração de bateria de notebooks.

Em novembro de 2003, a Futuremark lançou o primeiro *benchmark* multitarefa proposto a aferir o desempenho do sistema como um todo ou de componentes isolados como

CPU, memória, sistema gráfico e disco rígido. O PCMark04 permitia também a criação de parâmetros personalizados reunindo testes adaptados às necessidades específicas do usuário em sistemas operacionais Windows XP ou 2000.

A ferramenta continuou a evoluir durante anos, acompanhando as atualizações do sistema operacional Windows. Assim sendo, surgiu em junho de 2005 o PCMark05 para as versões XP e Vista deste S.O.

O PCMark Vantage, lançado em outubro de 2007, tinha como objetivo testar PCs com Windows Vista 32 e 64 bits, adequado para sistemas multimídia de entretenimento e estações gráficas dedicadas para jogos. Focado em testar os aplicativos disponíveis para o Windows Vista, esta versão do PCMark inclui os seguintes cenários de testes:

- Pontuação combinada de todos os cenários;
- Memória Principal;
- TV e Filmes;
- Jogos;
- Música;
- Comunicações;
- Produtividade;
- Disco Rígido (Memória Secundária).

Em maio de 2011, a Futuremark lançou o PCMark 7 para as versões mais recentes do sistema operacional Windows (7 e 8). Nesta atualização as inovações se deram pela inclusão de mais de 25 cargas de trabalho combinadas em 7 testes para dar diferentes pontos de vista sobre o desempenho do sistema.

Finalmente, em junho de 2013, foi lançada a última e atual versão deste *benchmark*, o PCMark 8. Diferentemente das versões anteriores, o PCMark 8 inclui testes de aplicativos de terceiros tais como *Adobe Creative Suite*, *Microsoft Office* e *LibreOffice*. O PCMark 8 inclui cinco testes de *benchmark*, cada um projetado em torno de um cenário específico:

- Home (Casa);
- Creative (Criatividade);
- Work (Trabalho);
- Storage (Armazenamento);
- Applications (Aplicações).

É necessário definir o cenário equivalente ao público-alvo para o dispositivo que está sendo testado, ou executar todos os cinco testes para um quadro completo do desempenho do dispositivo. Cada referência produz uma pontuação que pode ser utilizada para comparar os sistemas, bem como os resultados detalhados para obtenção de uma compreensão profunda de desempenho durante cada carga de trabalho individual. Cada um dos cinco principais *benchmarks* produz a sua própria pontuação. Ao testar equipamentos ou

componentes, é importante definir a referência mais apropriada para as capacidades do hardware e relatar seus resultados usando o nome completo do teste.

O PCMark é um dos *benchmarks* mais utilizados por sites de avaliação de hardware e fabricantes de computadores, além de ter sido recentemente atualizado (março/2013).

A Tabela 5.1 apresenta os requisitos mínimos do sistema.

Tabela 5.1: Requisitos do sistema [17].

	Mínimo	Recomendado
Sistema Operacional	Windows 7	Windows 7 ou 8
Processador	Dois Núcleos	Dois Núcleos
Memória	2GB	2GB
Gráfico	Directx 9	Directx 11
Tela	Resolução de 1366x768	Resolução de 1920x1080
Armazenamento	30GB de espaço livre	30GB de espaço livre

Para este estudo será utilizado o cenário “Work”, pois este tem como objetivo a medição da capacidade do sistema para realizar uma série de tarefas básicas de escritório e de trabalho. Para uso no escritório mais exigente, é necessário executar o teste de *benchmark* “Creative”. Os testes do cenário Work são concebidos para testar notebooks e desktops típicos de escritório, consistindo das seguintes cargas de trabalho:

- Navegação na Web;
- Edição de texto;
- Conversação em vídeo;
- Planilha.

A carga de trabalho “Navegação na Web” é dividida em dois testes chamados *JunglePin* e *Amazonia*, representando um cenário de navegação na Web comum. Os testes simulam uma verificação de atualizações de amigos em uma rede social e realizam uma busca de itens na página de um varejista, respectivamente. Esta carga estressa os seguintes componentes: CPU e sistema de armazenamento. A implementação é feita da seguinte forma:

Tarefas *JunglePin*:

1. *renderitems*: renderiza uma página com imagens de tamanhos variados, medindo o tempo;
2. *scroll*: rola uma página para baixo e para cima, medindo a taxa de quadros/segundo;
3. *openitem*: aproxima uma imagem, medindo a taxa de quadros/segundo da animação;
4. *opensearch*: carrega um conjunto de dados na função de busca, medindo o tempo;

5. *writesearch*: executa buscas quando um termo é digitado caractere-a-caractere, medindo o tempo;
6. *additemanimation*: seleciona uma área em miniatura da imagem a ser adicionada, medindo a taxa de quadros/segundo;
7. *additem*: adiciona a imagem à página ocasionando uma nova renderização da mesma, medindo o tempo.

A Tabela 5.2 traz detalhes do pacote de arquivos utilizado neste teste.

Tabela 5.2: Teste de navegação Web do PCMark 8 - detalhamento [17].

	Total de Arquivos	Tamanho do Pacote
Documento Inicial	178	4.4 MB

A pontuação do teste é obtida pela seguinte fórmula:

$$\text{Resultado Primário} = \text{Média Geométrica} \left(\frac{1}{R_1}, \frac{1}{R_2}, R_3, R_4 \right)$$

onde

$$\begin{aligned} R_1 &= \text{Resultado do } \textit{addanimation}; \\ R_2 &= \text{Resultado do } \textit{openitem}; \\ R_3 &= \text{Resultado do } \textit{scroll latency}; \\ R_4 &= \text{Resultado do } \textit{writesearch latency}. \end{aligned}$$

Tarefas *Amazonia*:

1. *scroll*: rola uma página para baixo e para cima, medindo a taxa de quadros/segundo;
2. *animation*: anima uma imagem 360 graus, medindo a taxa de quadros/segundo;
3. *carousel*: anima um carrossel de produtos quando diferentes produtos são selecionados e mede a taxa de quadros/segundo;
4. *addtocart*: adiciona um produto ao carrinho de compras, medindo o tempo.

A pontuação do teste é obtida pela seguinte fórmula:

$$\text{Resultado Primário} = \text{Média Geométrica} \left(\frac{1}{R_1}, \frac{1}{R_2}, R_3 \right)$$

onde

$$\begin{aligned} R_1 &= \text{Resultado do } \textit{itemanimation}; \\ R_2 &= \text{Resultado do } \textit{carousel}; \\ R_3 &= \text{Resultado do } \textit{scroll latency}. \end{aligned}$$

A carga de trabalho “Editor de texto” representa a atividade básica de processamento de texto. O teste usa um editor de texto personalizado escrito em *C* para *.NET Framework 4.5*. A carga de trabalho estressa o ambiente *Microsoft Rich Edit Control*. Os passos desta carga de trabalho consistem de uma série de tarefas comuns de processamento de texto, gravando o tempo necessário para concluir cada atividade. Nesta iteração os componentes de hardware estressados são os seguintes: CPU e sistema de armazenamento.

As atividades realizadas são:

1. Carregar documento 1, exibir em uma janela;
2. Carregar documento 2, exibir em uma janela;
3. Copiar uma grande parte do documento 1 e colar no documento 2;
4. “Salvar como” o documento 2;
5. Redimensionar a janela do documento 2;
6. Cortar e colar partes do documento 2 dentro do próprio documento;
7. Salvar o documento 2;
8. Digitar texto no documento 2;
9. Salvar o documento 2;
10. Inserir algumas fotos de uma unidade local no documento 2;
11. Salvar o documento 2.

A Tabela 5.3 traz o detalhamento do arquivo editado durante este teste.

Tabela 5.3: Teste de edição de texto do PCMark 8 - detalhamento [17].

	Tamanho do Arquivo	Páginas	Contagem de Palavras	Imagens
Início do Documento	53.5 MB	73	17.801	5
Final do Documento	67.2 MB	110	30.587	10

A pontuação deste teste é dada pela seguinte fórmula:

$$\text{Resultado Primário} = \text{Média Geométrica}(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10}, R_{11})$$

onde

R_1 = tempo para exibir o documento de origem;

R_2 = tempo para exibir o documento de destino;

R_3 = tempo para copiar e colar;

R_4 = tempo para salvar o documento 1;

R_5 = tempo para redimensionar janela do documento;
 R_6 = tempo para copiar e colar;
 R_7 = tempo para salvar o documento 2;
 R_8 = tempo para digitar texto no documento 2;
 R_9 = tempo para salvar o documento 3;
 R_{10} = tempo para adicionar figuras ao documento de destino;
 R_{11} = tempo para salvar o documento 4.

A carga de trabalho “Video Chat” é baseada em uma aplicação de *chat* entre duas pessoas e exibe as duas transmissões de vídeo, uma de entrada e uma de saída, codificando-as. Reprodução e codificação são baseadas em *Windows Media Foundation*. O fluxo de entrada é, na prática, um vídeo *H.264 720p* local reproduzido em uma janela. O fluxo de saída possui a funcionalidade de detecção facial utilizando *OpenCV* para desenhar um retângulo em volta do rosto dele. Esta versão da carga de trabalho utiliza um pré-processamento (filtragem CLAHE) para melhorar o desempenho e detecção do rosto. O teste também foi atualizado para usar *OpenCV 2.4.7*. O conteúdo de origem é um *buffer* de 1 segundo (30 quadros) de vídeo bruto para simular uma web cam. O destino do vídeo codificado é um *buffer* de memória que descarta quadros para simular a saída para uma rede. Nesta interação os componentes de hardware estressados são os seguintes: CPU, GPU ou hardware personalizado, dependendo dos codificadores do *Windows Media Foundation* e da configuração *OpenCL*.

A pontuação desta carga de trabalho é medida pela seguinte fórmula:

Teste *Video Chat* - Resultado primário para reprodução de vídeo = $R_1 + R_2$

onde

R_1 = quadros;
 R_2 = *ticks*.

A última carga de trabalho testada é a “Planilha”. Esta é baseada no processamento de um grande volume de dados usando o aplicativo *LibreOffice Calc*, uma parte da suíte de escritório de código aberto da *The Document Foundation*. Nesta interação os componentes de hardware estressados são os seguintes: CPU e GPU (com *OpenCL*). A implementação é feita da seguinte forma:

1. Iniciar o aplicativo Calc;
2. Abrir as planilhas de origem e destino;
3. Esticar as janelas de aplicativos a partir de um estado inicial;
4. Copiar os dados da planilha de origem para a de destino, para células que disparam avaliação por fórmulas. São aproximadamente 375 mil células;
5. Copiar os dados da planilha de origem para a de destino, para células que não disparam avaliação por fórmulas. São aproximadamente 375 mil células;

6. Copiar fórmulas da planilha de destino de modo que a avaliação dos dados copiados na tarefa 5 seja acionada. São copiados dados de três células e colados em aproximadamente 75.000 células;
7. Copiar mais dados da planilha de origem para a de destino, para células que dispararam avaliação por fórmulas. São copiadas aproximadamente 200 células;
8. Definir valores específicos a três células individuais desencadeando avaliação por fórmulas;
9. Salvar a planilha de destino em um novo arquivo.

A pontuação desta carga de trabalho é medida pela seguinte fórmula:

$$\text{Resultado primário} = \text{Média Geométrica } (R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9)$$

onde

R_2 = tempo para abrir o documento;
 R_3 = tempo para redimensionar a janela;
 R_4 = tempo para copiar dados e computá-los 1;
 R_5 = tempo para copiar dados simples;
 R_6 = tempo para copiar fórmulas;
 R_7 = tempo para copiar dados e computá-los 2;
 R_8 = tempo para editar células;
 R_9 = tempo para salvar o documento.

Existem dois modos de se executar o benchmark: convencional e acelerado. A diferença é a ativação ou não do *OpenCL* (*Open Computing Language*). O *OpenCL* é uma arquitetura para escrever programas com foco em plataformas heterogêneas, consistindo de CPUs, GPUs e outros processadores. O objetivo é estender o poder da GPU além do uso gráfico (GPGPU), resultando em um maior desempenho do sistema.

O cálculo final da pontuação no PCMark8 2.0 Work é feito da seguinte forma:

$$\text{Pontuação PCMark 8} = \frac{4200}{\text{MediaGeometrica}(R_1, R_2, R_3, R_4, \text{MediaGeometrica}(\frac{1}{R_5}, R_6))}$$

onde

R_1 = Navegação na Web - JunglePin - resultado primário;
 R_2 = Navegação na Web - Amazonia - resultado primário;
 R_3 = Edição de texto - resultado primário;
 R_4 = Planilha - resultado primário;
 R_5 = Conversação em vídeo - resultado primário;
 R_6 = Codificação de conversação em vídeo - resultado primário.

5.1.2 PassMark 8

O PassMark PerformanceTest 8 é um *microbenchmark* para PCs desenvolvido para realizar testes de diferentes componentes do computador, com o objetivo de determinar e comparar o desempenho de diferentes dispositivos e configurações [31].

O PassMark 8 é composto por trinta e dois testes padrão de *benchmark* que estão disponíveis em cinco suítes. Existem mais sete testes avançados para uma análise mais personalizada.

Testes-padrão:

- **CPU Test:** Operações matemáticas, compressão, criptografia, SSE, 3DNow!, instruções, dentre outros;
- **2D Graphic Test:** Desenho de linhas, bitmaps, fontes, texto e elementos gráficos de desenho;
- **3D Graphic Test:** Do mais simples ao complexo teste de gráficos DirectX 3D e animações;
- **Disk Test:** Leitura, escrita e busca de arquivos no disco rígido;
- **Memory Test:** Alocação e acesso à memória para verificação de eficiência e velocidade.

Testes avançados:

- *Advanced Disk;*
- *Advanced CD / DVD;*
- *Advanced 3D graphics;*
- *Advanced Networking* (para rede Ethernet, Internet and Wireless);
- *Advanced Memory;*
- *Advanced Visualized Physics;*
- *Advanced DirectCompute.*

Para este estudo será testada a suíte “CPU” do PassMark PerformanceTest 8, pois esta tem como objetivo a medição da capacidade do sistema com foco no processador.

Os resultados disponíveis para comparação do benchmark CPU ("Baselines") foram recolhidos a partir de submissões dos usuários para o site da PassMark, bem como de testes internos do desenvolvedor. O PerformanceTest realiza oito testes diferentes e, em seguida, calcula a média dos resultados em um conjunto para determinar o CPU Mark para um sistema [30].

Para garantir que o poder de processamento máximo de um sistema será avaliado, o benchmark executa cada teste de CPU em todos os núcleos disponíveis. Especificamente, o PerformanceTest executa um teste de CPU simultâneo para cada CPU lógica (*Hyper-threaded*), núcleo físico da CPU ou pacote de CPU física (módulo de múltiplos chips).

Assim, hipoteticamente, se você tem um PC que tem duas CPUs, cada uma com dois núcleos que usam *hyper-threading*, então o PassMark executará oito testes simultâneos.

A lista a seguir descreve cada um dos testes realizados. Em todos os casos uma pontuação mais elevada é melhor.

- **Teste de Cálculos Inteiros:** O teste de cálculos inteiros tem como objetivo medir o quão rápido a CPU pode executar operações matemáticas com números inteiros. Um inteiro é um número sem parte fracionária. Esta é uma operação básica em todos os softwares de computador e fornece uma boa indicação de rendimento da CPU. O teste usa um grande conjunto de inteiros aleatórios *32-bit* e *64-bit* somando, subtraindo, multiplicando e dividindo esses números. Este teste utiliza buffers de memória inteiros, totalizando cerca de 240kb por núcleo.
- **Teste de Compressão:** O teste de compressão mede a velocidade com que a CPU pode comprimir blocos de dados em blocos menores, sem perder os dados originais. O resultado é relatado em kilobytes por segundo. Este teste utiliza estruturas de dados e técnicas de manipulação de dados complexas para realizar uma função que é muito comum em aplicações de software, desde softwares de backup até softwares de email. O teste de compressão usa um algoritmo de codificação adaptativa baseada em um método descrito por de *Ian H. Witten, Radford M. Neal, e John G. Cleary* em um artigo chamado "Codificação Aritmética para compressão de dados". O sistema utiliza um modelo que mantém a probabilidade de cada símbolo sendo o seguinte codificado. Ele relata uma taxa de compressão de 363% para o texto em Inglês, que é ligeiramente melhor do que o método *Huffman* clássico. Este teste utiliza buffers de memória, totalizando cerca de 16kb por núcleo.
- **Teste de Números Primos:** O teste de números primos visa testar o quão rápido a CPU pode procurar por números primos, reportando como operações por segundo. Um número primo é um número que só pode ser dividido por si mesmo e por 1. Por exemplo 1, 2, 3, 5, 7, 11, etc. Este algoritmo utiliza ciclos de CPU e operações que são comuns em software de computador, sendo mais intensivos a multiplicação e operações de módulo. Todas as operações são realizadas utilizando inteiros de 64 bits. Este teste utiliza cerca de 4MB de memória por núcleo. A fórmula específica utilizada para este teste é o *Sieve of Atkin* com um limite de 32 milhões de casas decimais.
- **Teste de Criptografia:** O teste de criptografia criptografa blocos de dados aleatórios utilizando várias técnicas diferentes de criptografia, de tal forma que os dados resultantes só podem ser acessados por alguém com a chave de criptografia. Ele ainda testa a capacidade de computadores para criar um hash dos dados, o que também é uma técnica criptográfica comum utilizada para assegurar que os conteúdos de dados não estão adulterados. Os métodos utilizados são *TwoFish*, *AES*, *Salsa20* e *SHA256*. Este teste utiliza muitas das técnicas do "Teste de Cálculos Inteiros", mas também realiza uma grande quantidade de manipulações de dados binários e funções matemáticas da CPU como potenciação. A criptografia é um teste de *benchmark* muito útil, pois é muito utilizado em aplicações de software, variando desde navegadores de internet, software de comunicação e muitas aplicações diferentes. Este teste utiliza buffers de memória, totalizando cerca de 1MB

por núcleo. Quando disponível, o teste vai fazer uso de instruções especializadas da CPU para acelerar o desempenho, como *AES-NI* para o teste *AES*.

- **Teste de Cálculos de Ponto Flutuante:** O teste de cálculos de ponto flutuante executa as mesmas operações do teste de cálculos inteiros porém com números de ponto flutuante. Um número de ponto flutuante é um número com uma parte fracionária (por exemplo 12,568). Esses tipos de números são tratados de forma bastante diferente na CPU em comparação com números inteiros, por isso eles são testados separadamente. Este teste utiliza buffers de memória, totalizando cerca de 240kb por núcleo.
- **Instruções Multimídia:** Este teste mede a capacidade de SSE (*Extensões Streaming SIMD*) de uma CPU. O SSE é um conjunto de instruções da CPU que foi introduzido para permitir que os blocos de dados sejam processados a velocidades mais elevadas. O SSE permite operações lógicas e ponto flutuante de 128 bits. Este teste em particular mede o número de vezes que uma matriz 4x4 pode ser multiplicada por um vetor de 4 dimensões, por segundo, com o vetor sendo representado por um número de ponto flutuante de 128 bits (4 floats de 32 bits) e a matriz sendo representada por 4 números de ponto flutuante de 128 bits (4x 4 floats de 32 bits). A multiplicação de matrizes faz uso do SSE 128 bits, adicionando e multiplicando, para calcular o resultado. Este teste utiliza buffers de memória, totalizando menos de um kilobyte por núcleo.
- **Teste de Classificação de String:** O teste de classificação de *string* utiliza o algoritmo qSort (*Quicksort*) para ver o quão rápido a CPU pode classificar strings, uma tarefa comum em muitas aplicações. Este teste utiliza buffers de memória, totalizando cerca de 25 MB por núcleo.
- **Teste de Física:** O teste usa o *Tokamak Physics Engine* para executar uma referência de quão rápido a CPU pode calcular as interações físicas de várias centenas de objetos colidindo. Este teste utiliza buffers de memória, totalizando cerca de 30 MB por núcleo.
- **Teste de Núcleo Único:** O teste de núcleo único utiliza apenas um núcleo da CPU e avalia o desempenho de computadores sob essas condições. Muitas aplicações ainda usam apenas um núcleo, por isso esta é uma métrica importante. Além disso, muitos processadores modernos vão fazer *overclock* automaticamente quando apenas um único núcleo está em uso para melhorar o desempenho nesses cenários. O teste de núcleo único é um agregado dos testes de ponto flutuante, classificação de string e compressão de dados.

O *Passmark 8* tem os seguintes requisitos de sistema:

- Monitor com 1280 x 1024 pixels;
- Adaptador gráfico compatível com DirectX 9 ou superior;
- 1 GB de Memória RAM;
- Ao menos 100MB de espaço livre em disco.

5.1.3 Sysmark 2012

Este macrobenchmark é desenvolvido pelo BAPCo (*Business Applications Performance Consortium*), um consórcio sem fins lucrativos cujo objetivo é desenvolver e distribuir um conjunto de *benchmarks* objetivo, baseado em aplicações populares e sistemas operacionais padrão da indústria. A versão 2012 incorpora grande número de novas funcionalidades e aprimoramentos como uma GUI atualizada, execução individual de cada cenário e gerenciamento integrado da configuração.

O *Sysmark 2012 v1.5* é um *benchmark* baseado em aplicações que reflete padrões de uso de usuários corporativos nas áreas de escritório, análise de dados/financeira, gerenciamento de sistemas, criação de conteúdo digital, modelagem 3D e desenvolvimento web. Ele traz ainda as aplicações mais recentes e populares de cada área [6].

Ao contrário de *benchmarks* sintéticos, os quais artificialmente levam os componentes à sua capacidade máxima ou tentam deduzir o desempenho com base em uma simulação estática do comportamento das aplicações, o *Sysmark* usa aplicações reais, cargas de trabalho reais de usuários e conjuntos de dados reais para medir com precisão como o desempenho geral do sistema impacta a experiência do usuário [7].

Durante o desenvolvimento, primeiro são selecionadas as aplicações que irão compor o teste, e após isso é necessário tempo suficiente para que sejam desenvolvidas as cargas de trabalho, para que as aplicações sejam integradas ao *benchmark*, e para que este seja validado. Por isso, a versão de algumas aplicações não era a mais recente quando o *Sysmark* foi lançado. Conforme observou Dixit [13], este é um dos motivos pelos quais os benchmarks estão constantemente desatualizados.

No tocante à pontuação dos testes realizados, o BAPCo informa apenas que “a unidade fundamental de desempenho do *Sysmark* é o tempo de resposta”. O tempo de resposta é definido como o tempo que o computador leva para completar uma tarefa iniciada pelo *script* automatizado. Uma tarefa pode ser iniciada por um clique do mouse ou do teclado. A duração de cada tarefa é medida pelo *framework*. Exemplos de tarefas incluem abrir uma aplicação, encontrar um texto em um documento, copiar um arquivo, alterar o formato de um vídeo e manipular uma imagem.

As tarefas do cenário *Office Productivity* são as seguintes:

- Ler, criar e buscar emails;
- Criar e executar uma regra na caixa de entrada;
- Usar múltiplos navegadores para navegar em um *blog*, página de compras, *wiki* e rede social;
- Verificar um email online em uma sessão privada do navegador;
- Combinar diversas páginas digitalizadas de um documento complexo em um PDF encriptado usando OCR (*Optical Character Recognition* ou Reconhecimento Ótico de Caracteres);
- Criar um arquivo PDF com campos preenchíveis a partir de páginas digitalizadas;
- Arquivar um conjunto diverso de arquivos em um único arquivo encriptado;

- Usar um programa avançado de OCR para converter páginas digitalizadas de documentos em arquivos do *Word* editáveis;
- Criar uma postagem em um *blog* e fazer uma união de emails;
- Usar um programa de planilha para fazer análise de dados;
- Criar e visualizar apresentações complexas que incluem *clip art* e vídeo.

Algumas destas atividades são feitas simultaneamente para modelar o comportamento multitarefa típico. A Tabela 5.4 traz a lista de aplicações testadas neste cenário.

Tabela 5.4: Aplicações *Sysmark 2012 Office Productivity* [7]

Aplicação	Versão	Tipo do Documento
ABBY FineReader	Pro 10.0	Arquivos de imagem, documentos de processamento de texto
Adobe Acrobat	Pro 9	PDFs e arquivos de imagem
Adobe Flash Player	10.1	Animações Flash
Microsoft Excel	2010	Planilhas
Microsoft Internet Explorer	8 ou superior	Páginas Web
Microsoft Outlook	2010	E-mails
Microsoft PowerPoint	2010	Arquivos de Apresentações, imagem e vídeo
Microsoft Word	2010	Documentos de processamento de texto
Mozilla Firefox	3.6.8	Páginas Web
WinZip	Pro 14.5	Arquivos .zip, documentos variados

O *SYSmark 2012* tem os seguintes requisitos de sistema:

- Windows® 7 64-bit ou Windows® 8 64-bit;
- Processador Dual Core 1.8 GHz;
- 2 GB de Memória RAM;
- Adaptador gráfico compatível com DirectX 9;
- Ao menos 50GB de espaço livre em disco;
- Resolução do monitor de 1024x768 (ou maior).

Conforme se observa na Figura 5.1, o *Office Productivity* representa 50% da pontuação total do *Sysmark 2012 Rating*. Porém, é atribuída elevada relevância a algumas das dez aplicações testadas, tais como *Excel* e *Winzip*, as quais juntas respondem por massivos 73% da pontuação do *Office Productivity*. Já *Firefox*, *Internet Explorer*, *Outlook* e *Word* - aplicações de produtividade muito utilizadas - juntos respondem por menos de 1% desta.

A documentação do *Sysmark* afirma que este teste visa medir o desempenho geral do sistema. Na Tabela 5.5 verifica-se que a frequência de CPU tem certa influência sobre a

pontuação, sendo que a elevação do resultado não é diretamente proporcional à elevação do *clock*, representando cerca de 70% desta. O número de núcleos/*threads* é o fator de maior influência bruta sobre a pontuação, sendo que aumentos de 100% e 200% no número de *threads* geraram elevações de 23,5% e 43,2% no resultado, respectivamente, como mostra a Tabela 5.6.

Porém, a Tabela 5.7 evidencia que a capacidade gráfica do sistema é ignorada pelo *Sysmark*, sendo indiferente se este usa a controladora gráfica padrão integrada ao processador ou uma placa gráfica externa topo-de-linha. Esta abordagem vai contra a tendência de utilização da GPU por parte de aplicações e Sistemas Operacionais, por exemplo por meio de aceleração OpenCL. O mesmo ocorre com a memória principal, a qual inicialmente parece ter uma influência relevante sobre o desempenho neste teste. Porém, deve-se levar em consideração que atualmente a capacidade padrão de um computador é 4GB; a Tabela 5.8 mostra que a partir daí a elevação da memória traz ganhos diminutos no resultado do *benchmark*.

Por fim, como se observa na Tabela 5.9, o desempenho do subsistema de armazenamento só apresenta real influência caso se utilize um SSD (*Solid State Disk*, ou Disco de Estado Sólido) em lugar do *Hard Drive* tradicional, pois um HDD padrão tem atualmente uma velocidade de rotação de 7200 RPM.

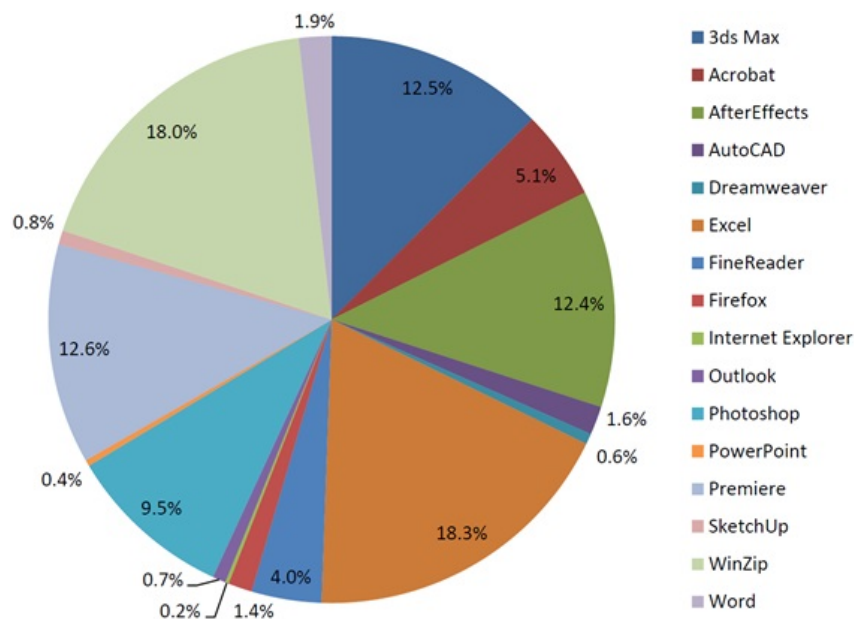


Figura 5.1: Contribuição de cada aplicação ao *Overall Rating* no sistema de calibração [7].

Tabela 5.5: Sensibilidade à frequência de CPU [7].

CPU Frequency Sensitivity	2.93GHz	3.06GHz	3.20GHz	3.33GHz
Office Productivity	0%	+3.8%	+7.6%	+10.7%
Media Creation	0%	+2.8%	+6.2%	+9.0%
Web Development	0%	+0.6%	+4.0%	+9.0%
Data/Financial Analysis	0%	+2.6%	+5.2%	+7.8%
3D Modeling	0%	+3.6%	+7.7%	+11.3%
System Management	0%	+3.1%	+6.2%	+11.6%
SYSmark 2012 Overall Rating	0%	+3.0%	+6.6%	+10.2%

Tabela 5.6: Sensibilidade aos núcleos/threads da CPU [7].

CPU Core/Thread Sensitivity	2c/4t	4c/8t	6c/12t
Office Productivity	0%	+6.8%	+13.6%
Media Creation	0%	+14.3%	+28.6%
Web Development	0%	+36.9%	+61.5%
Data/Financial Analysis	0%	+34.9%	+67.8%
3D Modeling	0%	+57.4%	+109.8%
System Management	0%	-0.7%	+2.1%
SYSmark 2012 Overall Rating	0%	+23.5%	+43.2%

Tabela 5.7: Sensibilidade a subsistema gráfico [7].

Graphics Sensitivity	i3-550 Integrated	6450 512MB	6970 2GB
Office Productivity	0%	-0.9%	+0.9%
Media Creation	0%	+1.0%	+1.0%
Web Development	0%	-2.8%	+0.9%
Data/Financial Analysis	0%	+7.0%	+7.0%
3D Modeling	0%	+0.9%	+1.9%
System Management	0%	+1.9%	+0.9%
SYSmark 2012 Overall Rating	0%	+0.9%	+1.9%

Tabela 5.8: Sensibilidade à memória principal [7].

System Memory Sensitivity	2 GB (2x1 GB)	4 GB (2x2 GB)	8 GB (2x4 GB)
Office Productivity	0%	+7.5%	+9.7%
Media Creation	0%	+233.3%	+250.0%
Web Development	0%	+8.8%	+11.0%
Data/Financial Analysis	0%	+6.3%	+4.2%
3D Modeling	0%	+2.0%	+2.0%
System Management	0%	+9.8%	+12.0%
SYSMark 2012 Overall Rating	0%	+28.2%	+30.8%

Tabela 5.9: Sensibilidade à memória secundária [7].

I/O Sensitivity	160 GB 5400 RPM HDD ST9160314AS	1 TB 7200 RPM HDD ST31000528AS	256 GB SSD MV-5PA256/US
Office Productivity	0%	+15.4%	+25.4%
Media Creation	0%	+3.8%	+7.7%
Web Development	0%	+19.4%	+39.4%
Data/Financial Analysis	0%	+7.3%	+13.7%
3D Modeling	0%	+4.9%	+7.4%
System Management	0%	+21.5%	+43.8%
SYSMark 2012 Overall Rating	0%	+11.8%	+21.9%

O *BAPCo* descreve detalhadamente o processo de desenvolvimento do *Sysmark*, afirmando que “No início do processo, são identificados os casos de uso de computadores em ambientes de negócios e estes são agrupados em cenários conforme sua adequação ao fluxo de trabalho. As aplicações são selecionadas para cada caso de uso com base em pesquisa de mercado e viabilidade técnica”. Porém, não são revelados detalhes a respeito de cada carga de trabalho, tais como quais as funcionalidades testadas e como são os testes, uma falta de transparência que compromete a credibilidade do *benchmark*.

O próximo capítulo trata da metodologia empregada nos testes realizados neste trabalho.

Capítulo 6

Metodologia

Conforme exposto anteriormente, as arquiteturas AMD e Intel apresentam grandes diferenças, cujos impactos no desempenho são desconhecidos. Poder-se-ia colocar lado-a-lado computadores dotados de processadores de ambos os fabricantes e utilizá-los a fim de verificar as diferenças de desempenho, porém este método seria demasiadamente subjetivo. Sendo assim, a fim de comparar a equivalência entre sistemas computacionais conforme o processador utilizado, decidiu-se por utilizar *softwares* de *benchmark*.

Existem no mercado centenas de testes desta natureza. A fim de realizar comparativos confiáveis e relevantes, buscou-se utilizar os *benchmarks* mais adotados pela mídia especializada e por empresas, chegando-se assim a PCMark (teste mais utilizado pela mídia especializada), Sysmark (teste mais utilizado em compras públicas) e Passmark (teste frequentemente utilizado em compras corporativas). Estes foram executados sempre seguindo as recomendações de seus fabricantes.

Com o objetivo de focar no processador e minimizar a influência de outros componentes nos resultados dos testes, decidiu-se por utilizar microcomputadores HP equivalentes, os quais diferem apenas no tocante a processador e *chipset*. Da mesma forma, foram utilizadas as mesmas memórias principais, discos rígidos e monitores em ambos os equipamentos.

Os computadores testados possuíam a configuração padrão apresentada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Configuração dos computadores.

	Microcomputadores	
	HP Compaq Pro 6300	HP Compaq Pro 6305
BIOS	Hewlett-Packard K01 v02.05	Hewlett-Packard K06 v02.57
Chipset	Intel Q75 Express	AMD A75
Memória Principal (RAM)	8192 MB - 2x Smart Modular 4096 MB DDR3 (11-11-11-28-1T) 1600MHz 12800 MB/s	8192 MB - 2x Smart Modular 4096 MB DDR3 (11-11-11-28-1T) 1600MHz 12800 MB/s
Memória Secundária (HDD)	Seagate ST500DM002-1BD142 (SATA III - 500 GB - 7200RPM)	Seagate ST500DM002-1BD142 (SATA III - 500 GB - 7200RPM)
Monitor	LG Flatron E1950 - 18,5" - Resolução 1360 x 768	LG Flatron E1950 - 18,5" - Resolução 1360 x 768
Driver de armazenamento	Microsoft 6.3.9600.16384	Microsoft 6.1.7600.16385
Driver de vídeo	Intel 10.18.10.3621	AMD 14.100.0.0

Previamente à execução de cada *benchmark*, cada computador foi preparado conforme os seguintes passos:

1. Instalação das memórias, disco-rígido e processador a ser testado;
2. Formatação do disco-rígido e instalação do Sistema Operacional;
3. Instalação dos drivers de vídeo e armazenamento mais atualizados;
4. Instalação do *benchmark* a ser executado;
5. Execução do teste (três iterações para cada um);
6. Registro do resultado médio.

As Tabelas 6.2 e 6.3 trazem as principais especificações dos processadores testados.

Tabela 6.2: HP Compaq Pro 6300 [23].

	Processadores		
	Intel Core i3-3220	Intel Core i5-3470	Intel Core i7-3770
Família	Ivy Bridge	Ivy Bridge	Ivy Bridge
Núcleos de CPU / Threads	2 / 4	4 / 4	4 / 8
Frequência de CPU / Turbo	3.3GHz / -	3.2GHz / 3.6GHz	3.4GHz / 3.9GHz
Frequência de GPU / Turbo	650MHz / 1.05GHz	650MHz / 1.1GHz	650MHz / 1.15Ghz
Cache (L1/L2/L3)	128KB / 512KB / 3MB	256KB / 1MB / 6MB	256KB / 1MB / 8MB

Tabela 6.3: HP Compaq Pro 6305 [2].

	Processadores		
	AMD A6-6400	AMD A8-6500	AMD A10-6800
Família	Richland	Richland	Richland
Núcleos de CPU / Threads	2 / 2	4 / 4	4 / 4
Frequência de CPU / Turbo	3.9GHz / 4.1GHz	3.5Ghz / 4.1GHz	4.1GHz / 4.4GHz
Frequência de GPU / Turbo	800MHz / -	800MHz / -	844MHz / -
Cache (L1/L2/L3)	96KB / 1MB / 0	192KB / 4MB / 0	192KB / 4MB / 0

Os benchmarks testados neste estudo podem ser verificados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Benchmarks testados.

Benchmark	Versão	Sistema Operacional
BAPCo Sysmark	2012 v1.5	Windows 7 Ultimate SP1 x64
Futuremark PCMark	8.0 v2.0.228	Windows 8.1 Pro x64
Passmark Software PerformanceTest	8.0 Build 1034	Windows 8.1 Pro x64

Buscou-se avaliar o desempenho dos equipamentos em ambientes corporativos, e para isto elegeu-se os subtestes *Sysmark 2012 Office Productivity*, *PCMark 8 2.0 Work Accelerated* e *Passmark 8 CPU Mark*.

As Figuras 6.1 e 6.2 exibem o ambiente onde foram realizados os testes.



Figura 6.1: Ambiente de testes 1.

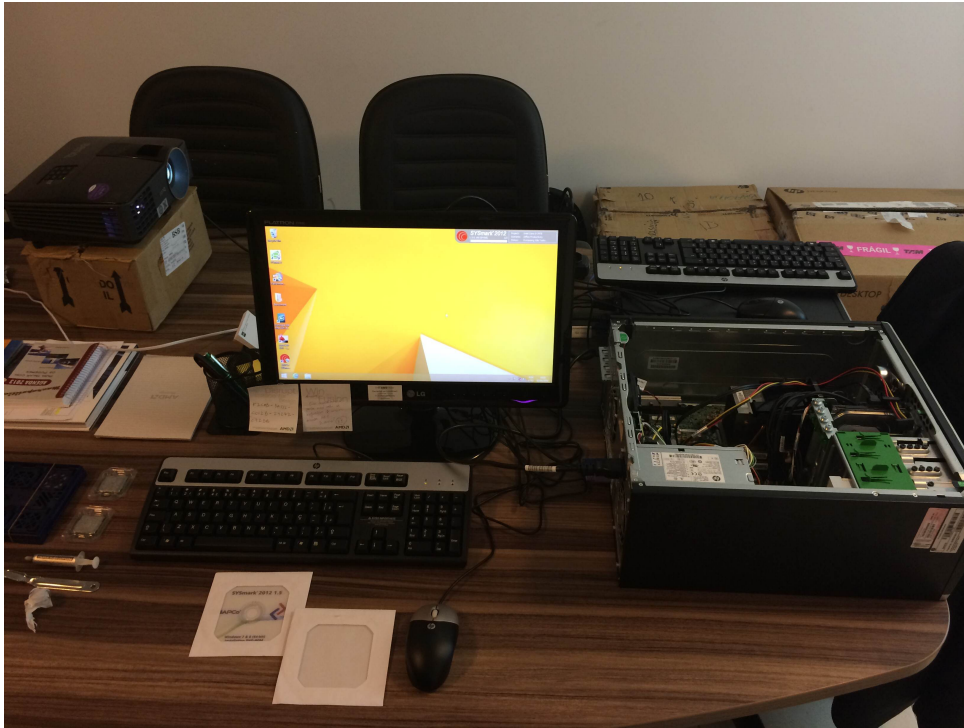


Figura 6.2: Ambiente de testes 2.

No próximo capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos testes.

Capítulo 7

Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados finais dos *benchmarks* para cada processador, um comparativo da variação percentual destes normalizado conforme menor resultado (desempenho relativo), bem como considerações acerca de cada teste.

7.1 Sysmark 2012

O *Sysmark* 2012 foi o maior teste executado neste estudo, demorando cerca de três horas para ser realizado. Além disso, foram enfrentadas reiteradas dificuldades para executá-lo com sucesso no Windows 8.1, pois os erros exibidos nas Figuras 7.1 e 7.2 se repetiram incessantemente. Foi necessário utilizar o Windows 7 para concluí-lo com sucesso. A Tabela 7.1 traz os resultados deste teste.

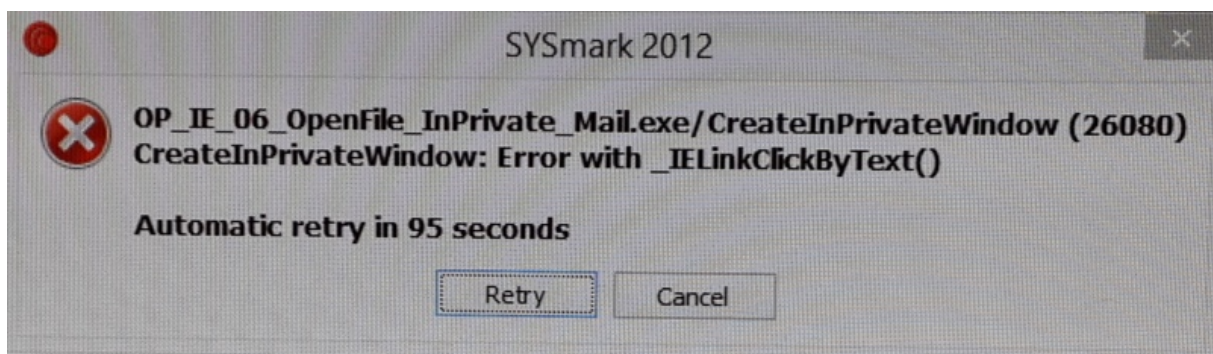


Figura 7.1: *Sysmark Error* 1.

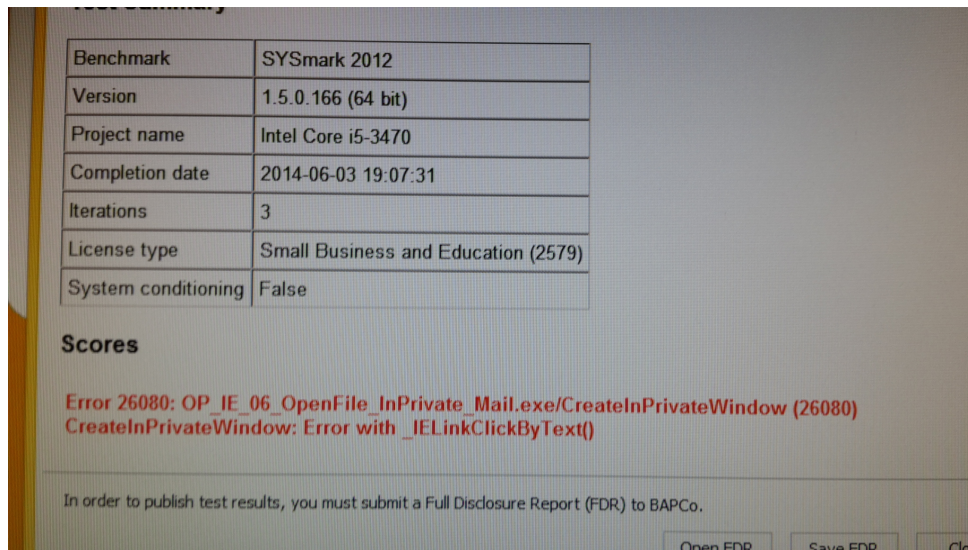


Figura 7.2: *Sysmark Error 2.*

Tabela 7.1: Resultados dos testes com Sysmark 2012.

Processador	Sysmark 2012 Office Productivity	Desempenho relativo
AMD A6-6400	88 pontos	100%
AMD A8-6500	106 pontos	120%
AMD A10-6800	120 pontos	136%
Intel i3-3220	126 pontos	143%
Intel i5-3470	137 pontos	155%
Intel i7-3770	169 pontos	192%

Como se observa, no *Sysmark* os processadores Intel apresentam pontuações significativamente superiores aos AMD, a ponto do processador de entrada daquela ultrapassar o topo-de-linha desta. Conforme exposto previamente no detalhamento deste teste, ele é focado exclusivamente em CPU, ignorando por completo a GPU. Os processadores Intel têm um IPC (*Instructions per Clock*) de CPU superior aos AMD, ao passo que esta apresenta um maior desempenho de GPU.

Esta abordagem vai contra a linha de desenvolvimento observada em ambos os fabricantes, com aumento gradual da relevância da GPU em seus processadores, assim como foge à tendência dos desenvolvedores de software de aumentar a utilização da GPU para tarefas paralelizáveis.

Com a miniaturização e a busca de eficiências energéticas cada vez maiores, é imperativo que as aplicações sejam capazes de lançar mão de todo e qualquer recurso computacional disponível, permitindo assim que processadores menores atendam às suas necessidades.

7.2 PCMark 8

Este *benchmark* dura cerca de trinta minutos e sua execução ocorreu sem dificuldades. A Tabela 7.2 traz seus resultados e a comparação entre os processadores.

Tabela 7.2: Resultados dos testes com PCMark 8.

Processador	PCMark8 2.0 Work Accelerated	Desempenho relativo
AMD A6-6400	3497 pontos	100%
Intel i3-3220	3555 pontos	101%
AMD A8-6500	3682 pontos	105%
Intel i5-3470	3870 pontos	110%
AMD A10-6800	3975 pontos	113%
Intel i7-3770	4067 pontos	116%

A comparação definida pelo *PCMark8* traz uma equivalência muito próxima entre os processadores de entrada, mediano e topo de cada fabricante. Conforme exposto no detalhamento do teste, o modo “*Accelerated*” permite às aplicações trabalhar com a API OpenCL, podendo assim lançar mão da CPU ou GPU para seu processamento conforme for mais eficiente. Devido a isto, a presença dos fabricantes em cada um destes recursos acaba por se equilibrar.

O *PCMark* fornece uma descrição detalhada de cada sub-teste, a qual foi discutida previamente. Ele disponibiliza ainda resultados detalhados dos tempos de execuções de cada um deles, os quais podem ser verificados nos relatórios completos anexos a este trabalho e que nos permitem realizar a comparação da Tabela 7.3.

Tabela 7.3: Detalhamento sub-teste PCMark 8.

	AMD A8-6500	Intel i5-3470
Web Browsing - JunglePin	0,340 s	0,299 s
Web Browsing - Amazonia	0,140 s	0,123 s
Writing	4,48 s	4,19 s
Spreadsheet	5,75 s	6,10 s
Video Chat playback	30 fps	30 fps
Video Chat encoding	74 ms	77 ms

Ambos os processadores possuem quatro núcleos de CPU, portanto conforme esperado o IPC superior da Intel é observado nos testes que dependem mais deste recurso. No *Video Chat Playback* observa-se que ambos os processadores são capazes de sustentar 30 quadros por segundo, a taxa de atualização do olho humano. Já no teste *Spreadsheet*, verifica-se uma superioridade do processador AMD. Conforme observado anteriormente, este teste é baseado no “*LibreOffice Calc*”, o qual está preparado para utilizar OpenCL, a fim de acelerar sua execução. Assim, a GPU se torna um diferencial [9]. O mesmo ocorre no teste *Video Chat encoding*, uma aplicação nativamente depende de GPU.

7.3 PassMark 8

Por se tratar de um *microbenchmark*, o *Passmark 8* não precisa conter aplicações reais, permitindo que tenha um tamanho reduzido (aproximadamente 80MB) e seja executado em cerca de um minuto. Seus resultados podem ser verificados na Tabela 7.4.

Tabela 7.4: Resultados dos testes com PassMark 8.

Processador	PassMark - CPU Mark	Desempenho relativo
AMD A6-6400	2580 pontos	100%
Intel i3-3220	4462 pontos	172%
AMD A8-6500	4756 pontos	184%
AMD A10-6800	5233 pontos	202%
Intel i5-3470	6971 pontos	270%
Intel i7-3770	9651 pontos	374%

Os resultados do *Passmark 8* confirmam que este é um teste também focado exclusivamente em CPU, porém com maior foco em *multithread* que o *Sysmark*. Além disso, este *benchmark* dedica um sub-teste exclusivamente a desempenho *single-thread*, aumentando o foco em CPU. Devido a isto, o Core i3, que tem 2 núcleos com *Hyperthreading*, se distancia do A6, que tem apenas dois núcleos tradicionais e desvantagem no IPC. Já o A8 ultrapassa ligeiramente o i3 devido aos seus quatro núcleos físicos. O mesmo se aplica ao A10, cuja vantagem frente ao A8 (+10%) se deve à sua frequência de CPU superior (+17%) mas é proporcionalmente inferior a esta. Por fim, o i5 alia os quatro núcleos físicos à vantagem de IPC para se distanciar do A10, ao passo que o i7 alcança resultado muito superior aos demais devido aos 4 núcleos dotados de *Hyperthreading*.

7.4 Análise Comparativa

Devido à similitude das arquiteturas e especificações técnicas, além da experiência de uso equiparável, era de se esperar que as pontuações nos *benchmarks* fossem semelhantes para os modelos equivalentes dos dois fabricantes. Porém a análise dos resultados de cada *benchmark* permite observar que cada um deles tem uma interpretação bastante distinta sobre o que significa “desempenho”. O *Sysmark* ignora o papel da GPU, como sua documentação já indicava [7], e seu foco em CPU supervaloriza a frequência frente ao número de núcleos. Já o *PCMark 8* em seu modo *Accelerated* busca dar alguma relevância à GPU, apesar de ainda priorizar a CPU em suas cargas. As pontuações aproximadas para os modelos AMD e Intel evidenciam que as vantagens de cada arquitetura se equilibram no decorrer dos testes. Por fim, o *Passmark 8* adota o mesmo foco em CPU observado no *Sysmark*, com a diferença de que prioriza o número de núcleos/*threads* frente à frequência.

No próximo capítulo estão apresentadas as conclusões deste trabalho.

Capítulo 8

Conclusão

Neste trabalho foi realizado um estudo acerca da problemática envolvendo o uso de *softwares* de *benchmark* para a mensuração do desempenho de microcomputadores. Para melhor avaliação desses *softwares*, testes de laboratório foram realizados. Nestes foi mantida idêntica a configuração das máquinas baseadas em AMD e Intel, à exceção exclusivamente de processadores e *chipsets*, que são proprietários de cada um destes fabricantes.

Os estudos e validações realizadas permitem dizer que, de fato, seria difícil eleger um *benchmark* que fosse capaz de exprimir a experiência real de um usuário padrão em atividades de trabalho/escritório. Caso fosse necessário estabelecer uma hierarquia de adequação dos *benchmarks* testados para a aferição do desempenho de microcomputadores, o mais adequado seria o *PCMark8*, pois sua pontuação considera o *chip* como um todo, incluindo a GPU, e não apenas a CPU. Este seria seguido pelo *PassMark 8* e por fim pelo *Sysmark 2012*.

Foi possível também identificar neste estudo que pode haver oportunidades para que fabricantes influenciem nos resultados de *benchmarks* convenientes a eles, priorizando algumas aplicações, com o intuito de privilegiar recursos presentes em alguns *hardwares* específicos.

Conclui-se deste estudo que os softwares de *benchmark* não devem ser considerados como a verdade absoluta quando se buscar aferir o desempenho de sistemas computacionais. Os resultados destes testes, de fato, exprimem o desempenho de tais sistemas, porém somente nas cargas exatas executadas por eles, as quais usualmente não se aproximam suficientemente do uso final que se pretende para os equipamentos.

A título de sugestão, o ideal é que seja desenvolvida uma ferramenta capaz de registrar o tempo de utilização das aplicações relevantes para um usuário real nas suas atividades diárias. Uma vez colhidas estas informações, utilizar-se-ia um *benchmark* que permitisse a personalização dos testes com base no perfil do usuário, para que se pudesse aferir o desempenho de determinada configuração naquele ambiente específico de forma precisa e idônea.

Referências

- [1] Fedy Abi-Chahla. Intel core i7 (nehalem): Architecture by amd? *tom's Hardware*, 2008. Disponível em <http://www.tomshardware.com/reviews/Intel-i7-nehalem-cpu,2041-8.html>. Acesso em 2014. 14
- [2] AMD. Disponível em <https://products.amd.com>. ix, 40
- [3] AMD. Family 15h models 10h - 1fh amd a-series accelerated processor product data sheet. *Advanced Micro Devices Inc.*, 2012. Disponível em http://support.amd.com/TechDocs/50911_15h_Mod_10h-1Fh_A-Series_PDS.pdf. Acesso em 2014. ix, 18
- [4] AMD. Amd embedded g-series system-on-chip (soc). *Advanced Micro Devices Inc.*, 2013. Disponível em <http://www.amd.com/Documents/AMDGSeriesSOCProductBrief.pdf>. Acesso em 2014. vii, 16, 17
- [5] Chip Architect. Disponível em <http://www.chip-architect.com/>. vii, 15
- [6] BAPCo. Disponível em <http://bapco.com/products/sysmark-2012>. 33
- [7] BAPCo. Sysmark 2012, 2013. Disponível em http://bapco.com/assets/uploads/support/sysmark2012/SYSmark2012WhitePaper_1.13.pdf. Acesso em 2014. vii, ix, 33, 34, 35, 36, 37, 46
- [8] Christian Bienia. *Benchmarking Modern Multiprocessors*. PhD thesis, Princeton University, Princeton, New Jersey, 2011. Disponível em <ftp://ftp.cs.princeton.edu/reports/2010/890.pdf>. Acesso em 2014. 3, 22
- [9] LibreOffice Brasil Blog. Disponível em <http://blog.pt-br.libreoffice.org/2014/01/30/libreoffice-4-2-foco-no-desempenho-interoperabilidade-e-na-integracao-45>
- [10] Donald S. Clark. Docket no. 9341. Technical report, United States of America before the Federal Trade Commission, Princeton, New Jersey, 2011. Disponível em <http://www.ftc.gov/sites/default/files/documents/cases/091216intelcmpt.pdf>. Acesso em 2014. 22
- [11] CPU-Info. Disponível em <https://web.archive.org/web/20070818021000/http://www.cpu-info.com/index2.php?mainid=html/cpu/amdk5.php>. 13
- [12] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <http://www.cptec.inpe.br/supercomputador/>. 6

- [13] Kaivalya M. Dixit. Disponível em <http://www.csl.cornell.edu/hpca7/presentation.pdf>. 23, 33
- [14] Praveen Dongara. Amd "richland" client apu. *Advanced Micro Devices Inc.*, 2013. Disponível em http://www.hotchips.org/wp-content/uploads/hc_archives/hc25/HC25.30-SoC2-epub/HC25.26.312-Richland_Hotchips25_PraveenDongara_FINAL_presented1.pdf. Acesso em 2014. vii, 18
- [15] Exceleram. Disponível em <http://www.exceleram.com>. vii, 9
- [16] Global Standards for the Microelectronics Industry. Ddr3 sdram standard, 2012. Disponível em: <http://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd-79-3d/>. Acesso em 2014. ix, 9
- [17] Futuremark. Pcmark, the complete benchmark, 2013. Disponível em http://s3.amazonaws.com/download-aws.futuremark.com/PCMark_8_Technical_Guide.pdf. Acesso em 2014. ix, 23, 25, 26, 27
- [18] Lin Gao. *Multithreading*. PhD thesis, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 2006. 19
- [19] Kathy Gill. Intel's bay trail: Multicore soc family for mobile devices. *Intel Corporation*, 2013. Disponível em http://www.intel.com/newsroom/kits/idf/2013_fall/pdfs/bay_trail_fact_sheet.pdf. Acesso em 2014. 16
- [20] Linley Gwennap. Sandy bridge spans generations. *The Linley Group*, 2010. Disponível em <http://www.valleytalk.org/wp-content/uploads/2011/01/Microprocessor-Report-Sandy-Bridge-Spans-Generations-243901.pdf>. Acesso em 2014. vii, 21
- [21] IBM. Ibm 350 disk storage unit. Disponível em http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/storage/storage_350.html Acesso em 2014. 10
- [22] Ilatif. Amd's 64-bit "seattle" arm processor brings best of breed hardware and software to the data center. *AMD Business*, 2013. Disponível em <http://community.amd.com/community/amd-blogs/amd-business/blog/2013/12/12/amd-s-64-bit-seattle-arm-processor-brings-best-of-breed-hardware-and-software-to>. Acesso em 2014. 14
- [23] Intel. Disponível em <https://ark.intel.com>. ix, 40
- [24] Intel. Desktop 3rd gen intel® core™ processor family: Datasheet, vol. 1. *Intel Corporation*, 2013. Disponível em <http://www.intel.com/content/www/us/en/processors/core/3rd-gen-core-desktop-vol-1-datasheet.html>. ix, 20
- [25] Stephen McBride. Amd unleashes opteron 64-bit processor. *ITP.net*, 2003. Disponível em: <http://www.itp.net/490321-amd-unleashes-opteron-64-bit-processor/?tab=article>. Acesso em 2014. 14

- [26] Gordon E. Moore. Moore's law, 1965. Disponível em: <http://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/moores-law-technology.html>. Acesso em 2014. 1
- [27] Anand Lal Shimpi. Amd's hammer architecture - making sense of it all, 2001. Disponível em: <http://www.anandtech.com/show/838/6>. Acesso em 2014. 14
- [28] Anand Lal Shimpi. Futuremark begins delisting "cheating" mobile devices from 3dmark database. *AnandTech*, 2013. Disponível em <http://www.anandtech.com/show/7547/futuremark-begins-delisting-cheating-mobile-devices-from-3dmark-database>. Acesso em 2014. 22
- [29] Ryan Shrout. Intel atom z3000 series review - bay trail and silvermont arrive. *PC Perspective*, 2013. Disponível em <http://www.pcper.com/reviews/Processors/Intel-Atom-Z3000-Series-Review-Bay-Trail-and-Silvermont-Arrive/Intel-Burst-and-Ac>. Acesso em 2014. vii, 17
- [30] PassMark Software. Cpu benchmarks, 2014. Disponível em http://www.cpubenchmark.net/cpu_list.php. Acesso em 2014. 30
- [31] PassMark Software. Performancetest, easy pc benchmarking, 2014. Disponível em <http://www.passmark.com/products/pt.htm>. Acesso em 2014. 30
- [32] Andrew S. Tanenbaum. *Organização Estruturada de Computadores*. Editora Pearson, 2007. vii, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12
- [33] Bucaro TechHelp. Pc motherboard expansion cards. Disponível em <http://bucarotechelp.com/computers/anatomy/94100605.asp>. vii, 14
- [34] ARS Technica. Amd reveals fusion cpu+gpu, to challenge intel in laptops. Disponível em <http://arstechnica.com/business/2010/02/amd-reveals-fusion-cpugpu-to-challenge-intel-in-laptops/>. Acesso em 2014. 15
- [35] ARS Technica. A closer look at amd's cpu/gpu fusion. Disponível em <http://arstechnica.com/gadgets/2006/11/8250/>. Acesso em 2014. vii, 14
- [36] Western Digital Technologies. Armazenamento para cada aplicação. o poder da escolha. Disponível em <http://www.wdc.com/pt/products/internal/desktop/1>. Acesso em 2014. vii, 11
- [37] Hong Jiang Varghese George, Tom Piazza. Technology insight: Intel next generation microarchitecture codename ivy bridge. *Intel Developer Forum*, 2011. Disponível em http://www.intel.com/idf/library/pdf/sf_2011/SF11_SPCS005_101F.pdf. Acesso em 2014. vii, 19, 20, 21
- [38] wccfttech. Disponível em <http://wccfttech.com/review/amd-a10-6800k-a10-6700-richland-apu-review/>. vii, 16

- [39] Wizzard. Intel core i5-2500k sandy bridge gpu performance. *TechPowerUP*, 2011. Disponível em http://www.techpowerup.com/reviews/Intel/Core_i5_2500K_GPU/. Acesso em 2014. vii, 15, 16
- [40] Xiaolan Zhang. *Application-Specific Benchmarking*. PhD thesis, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 2001. Disponível em <http://www.eecs.harvard.edu/~syrah/application-spec-benchmarking/publications/thesis.pdf>. Acesso em 2014. 3, 22, 23

Apêndice A

Apêndices - Resultados Detalhados dos Testes

A.1 Sysmark 2012

Test Summary

Benchmark	SYSmark 2012
Version	1.5.0.166 (64 bit)
Project name	AMD A6-6400
Completion date	2014-06-07 21:15:30
Iterations	3
License type	Small Business and Education (2579)
System conditioning	False

Scores

	Office Productivity
Scenario Rating	88
Iteration 1	91
Iteration 2	87
Iteration 3	86

SYSmark 2012 Rating: N/A

Hardware

BIOS	Hewlett-Packard K06 v02.57 08/16/2013
Motherboard type	1850
CPU type	AMD A6-6400K APU with Radeon(tm) HD Graphics
CPU frequency	3900 MHz
Memory size	8192 MB
Screen Resolution	1360 x 768 @ 60 Hz
Disk 0	500.1 GB ST500DM002-1BD142
Policies	Write caching: Default; Power protected: Default
GPU 0	AMD Radeon HD 8470D

Software

OS type	Windows 7 Ultimate x64 Service Pack 1
OS version	6.1.7600.16385
Virtual Memory	14747 MB Total, 13575 MB Free
Visual Effects	Let Windows choose what's best for my computer
Desktop Composition	Enabled
Power policy	BAPCo SYSmark 2012

Figura A.1: AMD A6-6400 Sysmark 2012 (Office Productivity)

Test Summary

Benchmark	SYSmark 2012
Version	1.5.0.166 (64 bit)
Project name	AMD A8-6500
Completion date	2014-06-06 16:55:19
Iterations	3
License type	Small Business and Education (2579)
System conditioning	False

Scores

	Office Productivity
Scenario Rating	106
Iteration 1	105
Iteration 2	106
Iteration 3	108

SYSmark 2012 Rating: N/A

Hardware

BIOS	Hewlett-Packard K06 v02.57 08/16/2013
Motherboard type	1850
CPU type	AMD A8-6500 APU with Radeon(tm) HD Graphics
CPU frequency	3500 MHz
Memory size	8192 MB
Screen Resolution	1360 x 768 @ 60 Hz
Disk 0	500.1 GB ST500DM002-1BD142
Policies	Write caching: Default; Power protected: Default
GPU 0	AMD Radeon HD 8570D

Software

OS type	Windows 7 Ultimate x64 Service Pack 1
OS version	6.1.7600.16385
Virtual Memory	14747 MB Total, 13641 MB Free
Visual Effects	Let Windows choose what's best for my computer
Desktop Composition	Disabled
Power policy	BAPCo SYSmark 2012

Figura A.2: AMD A8-6500 Sysmark 2012 (Office Productivity)

Test Summary

Benchmark	SYSm [®] ark 2012
Version	1.5.0.166 (64 bit)
Project name	AMD A10-6800
Completion date	2014-06-06 19:26:00
Iterations	3
License type	Small Business and Education (2579)
System conditioning	False

Scores

	Office Productivity
Scenario Rating	120
Iteration 1	118
Iteration 2	120
Iteration 3	120

SYSm[®]ark 2012 Rating: N/A

Hardware

BIOS	Hewlett-Packard K06 v02.57 08/16/2013
Motherboard type	1850
CPU type	AMD A10-6800B APU with Radeon(tm) HD Graphics
CPU frequency	4100 MHz
Memory size	8192 MB
Screen Resolution	1360 x 768 @ 60 Hz
Disk 0	500.1 GB ST500DM002-1BD142
Policies	Write caching: Default; Power protected: Default
GPU 0	AMD Radeon HD 8670D

Software

OS type	Windows 7 Ultimate x64 Service Pack 1
OS version	6.1.7600.16385
Virtual Memory	14747 MB Total, 13491 MB Free
Visual Effects	Let Windows choose what's best for my computer
Desktop Composition	Enabled
Power policy	BAPCo SYSm [®] ark 2012

Figura A.3: AMD A10-6800 Sysmark 2012 (Office Productivity)

Test Summary

Benchmark	SYSmark 2012
Version	1.5.0.166 (64 bit)
Project name	Intel Core i3-3220
Completion date	2014-06-05 19:12:29
Iterations	3
License type	Small Business and Education (2579)
System conditioning	False

Scores

	Office Productivity
Scenario Rating	126
Iteration 1	126
Iteration 2	127
Iteration 3	127

SYSmark 2012 Rating: N/A

Hardware

BIOS	Hewlett-Packard K01 v02.05 05/07/2012
Motherboard type	339A
CPU type	Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30GHz
CPU frequency	3300 MHz
Memory size	8192 MB
Screen Resolution	1360 x 768 @ 60 Hz
Disk 0	500.1 GB ST500DM002-1BD142
Policies	Write caching: Default; Power protected: Default
GPU 0	Intel(R) HD Graphics

Software

OS type	Windows 7 Ultimate x64 Service Pack 1
OS version	6.1.7600.16385
Virtual Memory	16133 MB Total, 14987 MB Free
Visual Effects	Let Windows choose what's best for my computer
Desktop Composition	Enabled
Power policy	BAPCo SYSmark 2012

Figura A.4: Intel Core i3-3220 Sysmark 2012 (Office Productivity)

Test Summary

Benchmark	SYSm [®] ark 2012
Version	1.5.0.166 (64 bit)
Project name	Intel Core i5-3470
Completion date	2014-06-05 12:38:52
Iterations	3
License type	Small Business and Education (2579)
System conditioning	False

Scores

	Office Productivity
Scenario Rating	137
Iteration 1	130
Iteration 2	138
Iteration 3	143

SYSm[®]ark 2012 Rating: N/A

Hardware

BIOS	Hewlett-Packard K01 v02.05 05/07/2012
Motherboard type	339A
CPU type	Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz
CPU frequency	3200 MHz
Memory size	8192 MB
Screen Resolution	1360 x 768 @ 60 Hz
Disk 0	500.1 GB ST500DM002-1BD142
Policies	Write caching: Default; Power protected: Default
GPU 0	Intel(R) HD Graphics

Software

OS type	Windows 7 Ultimate x64 Service Pack 1
OS version	6.1.7600.16385
Virtual Memory	16133 MB Total, 15009 MB Free
Visual Effects	Let Windows choose what's best for my computer
Desktop Composition	Enabled
Power policy	BAPCo SYSm [®] ark 2012

Figura A.5: Intel Core i5-3470 Sysmark 2012 (Office Productivity)

Test Summary

Benchmark	SYSmark 2012
Version	1.5.0.166 (64 bit)
Project name	Intel Core i7-3770
Completion date	2014-06-05 15:20:59
Iterations	3
License type	Small Business and Education (2579)
System conditioning	False

Scores

	Office Productivity
Scenario Rating	169
Iteration 1	166
Iteration 2	170
Iteration 3	172

SYSmark 2012 Rating: N/A

Hardware

BIOS	Hewlett-Packard K01 v02.05 05/07/2012
Motherboard type	339A
CPU type	Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz
CPU frequency	3400 MHz
Memory size	8192 MB
Screen Resolution	1360 x 768 @ 60 Hz
Disk 0	500.1 GB ST500DM002-1BD142
Policies	Write caching: Default; Power protected: Default
GPU 0	Intel(R) HD Graphics 4000

Software

OS type	Windows 7 Ultimate x64 Service Pack 1
OS version	6.1.7600.16385
Virtual Memory	16133 MB Total, 14937 MB Free
Visual Effects	Let Windows choose what's best for my computer
Desktop Composition	Enabled
Power policy	BAPCo SYSmark 2012

Figura A.6: Intel Core i7-3770 Sysmark 2012 (Office Productivity)

A.2 PCMark 8

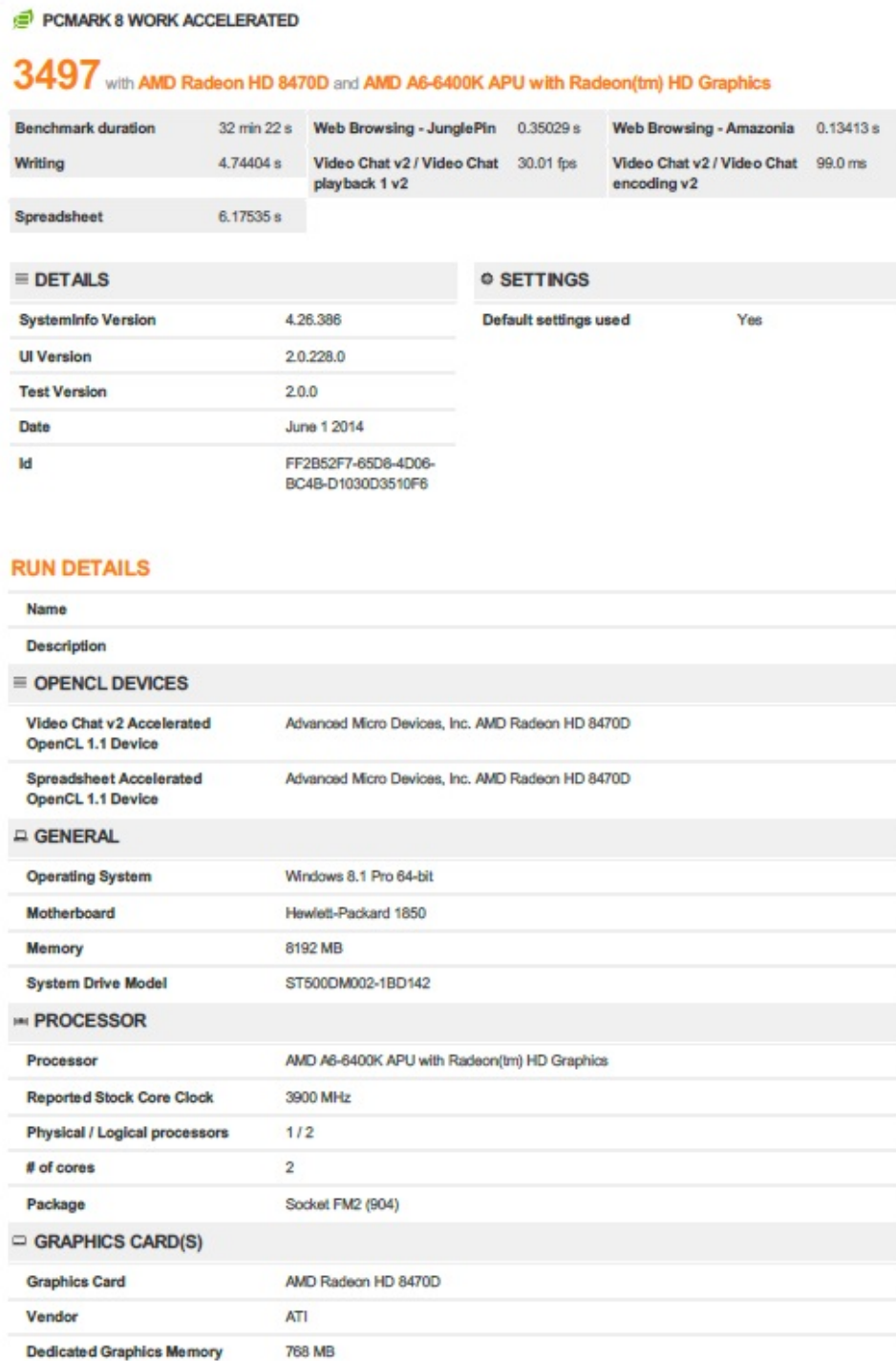


Figura A.7: AMD A6-6400 PCMark 8 (Work Accelerated)

PCMARK 8 WORK ACCELERATED

3682 with AMD Radeon HD 8570D and AMD A8-6500 APU with Radeon(tm) HD Graphics

Benchmark duration	31 min 24 s	Web Browsing - JunglePin	0.34004 s	Web Browsing - Amazonia	0.14031 s
Writing	4.47685 s	Video Chat v2 / Video Chat playback 1 v2	29.99 fps	Video Chat v2 / Video Chat encoding v2	74.0 ms
Spreadsheet	5.75346 s				

DETAILS	SETTINGS
SystemInfo Version	4.26.386
UI Version	2.0.228.0
Test Version	2.0.0
Date	June 6 2014
Id	7476050A-55B7-49BB-ACF1-E0F565DDF5A0
	Default settings used Yes

RUN DETAILS

Name
Description

OPENCL DEVICES	
Video Chat v2 Accelerated OpenCL 1.1 Device	Advanced Micro Devices, Inc. AMD Radeon HD 8570D
Spreadsheet Accelerated OpenCL 1.1 Device	Advanced Micro Devices, Inc. AMD Radeon HD 8570D

GENERAL	
Operating System	Windows 8.1 Pro 64-bit
Motherboard	Hewlett-Packard 1850
Memory	8192 MB
System Drive Model	ST500DM002-1BD142

[M] PROCESSOR	
Processor	AMD A8-6500 APU with Radeon(tm) HD Graphics
Reported Stock Core Clock	3500 MHz
Physical / Logical processors	1 / 4
# of cores	4
Package	Socket FM2 (904)

GRAPHICS CARD(S)	
Graphics Card	AMD Radeon HD 8570D
Vendor	ATI
Dedicated Graphics Memory	768 MB

Figura A.8: AMD A8-6500 PCMark 8 (Work Accelerated)

PCMARK 8 WORK ACCELERATED

3975 with AMD Radeon HD 8670D and AMD A10-6800B APU with Radeon(tm) HD Graphics

Benchmark duration	31 min 35 s	Web Browsing - JunglePin	0.33528 s	Web Browsing - Amazonia	0.13064 s
Writing	4.35924 s	Video Chat v2 / Video Chat playback 1 v2	29.99 fps	Video Chat v2 / Video Chat encoding v2	55.0 ms
Spreadsheet	5.0913 s				

DETAILS	SETTINGS
SystemInfo Version	4.26.386
UI Version	2.0.228.0
Test Version	2.0.0
Date	May 31 2014
Id	09460E13-A7BE-4391-B98D-87B2D6EE269F
	Default settings used Yes

RUN DETAILS

Name	
Description	
OPENCL DEVICES	
Video Chat v2 Accelerated OpenCL 1.1 Device	Advanced Micro Devices, Inc. AMD Radeon HD 8670D
Spreadsheet Accelerated OpenCL 1.1 Device	Advanced Micro Devices, Inc. AMD Radeon HD 8670D
GENERAL	
Operating System	Windows 8.1 Pro 64-bit
Motherboard	Hewlett-Packard 1850
Memory	8192 MB
System Drive Model	ST500DM002-1BD142
PROCESSOR	
Processor	AMD A10-6800B APU with Radeon(tm) HD Graphics
Reported Stock Core Clock	4100 MHz
Physical / Logical processors	1 / 4
# of cores	4
Package	Socket FM2 (904)
GRAPHICS CARD(S)	
Graphics Card	AMD Radeon HD 8670D
Vendor	ATI
Dedicated Graphics Memory	768 MB

Figura A.9: AMD A10-6800 PCMark 8 (Work Accelerated)

PCMARK 8 WORK ACCELERATED

3555 with Intel(R) HD Graphics and Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30GHz

Benchmark duration	31 min 14 s	Web Browsing - JunglePin	0.30624 s	Web Browsing - Amazonia	0.12387 s
Writing	4.33536 s	Video Chat v2 / Video Chat playback 1 v2	30.02 fps	Video Chat v2 / Video Chat encoding v2	104.33333 ms
Spreadsheet	7.45574 s				

DETAILS	SETTINGS
SystemInfo Version	4.26.386
UI Version	2.0.228.0
Test Version	2.0.0
Date	June 8 2014
Id	3213BB1E-3034-4B4E-9483-749278DB9920
	Default settings used Yes

RUN DETAILS

Name	
Description	
OPENCL DEVICES	
Video Chat v2 Accelerated OpenCL 1.1 Device	Not in use
Spreadsheet Accelerated OpenCL 1.1 Device	Intel(R) Corporation Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30GHz
GENERAL	
Operating System	Windows 8.1 Pro 64-bit
Motherboard	Hewlett-Packard 339A
Memory	8192 MB
System Drive Model	ST500DM002-1BD142
PROCESSOR	
Processor	Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30GHz
Reported Stock Core Clock	3300 MHz
Physical / Logical processors	1 / 4
# of cores	2
Package	Socket 1155 LGA
GRAPHICS CARD(S)	
Graphics Card	Intel(R) HD Graphics
Vendor	Intel
Dedicated Graphics Memory	0 MB

Figura A.10: Intel i3-3220 PCMark 8 (Work Accelerated)

PCMARK 8 WORK ACCELERATED

3870 with Intel(R) HD Graphics and Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz

Benchmark duration	30 min 44 s	Web Browsing - JunglePin	0.29937 s	Web Browsing - Amazonia	0.12275 s
Writing	4.19313 s	Video Chat v2 / Video Chat playback 1 v2	30.01 fps	Video Chat v2 / Video Chat encoding v2	77.0 ms
Spreadsheet	6.10203 s				

DETAILS	SETTINGS
SystemInfo Version	4.26.386
UI Version	2.0.228.0
Test Version	2.0.0
Date	June 8 2014
Id	93796D16-682A-44E7-A7AF-AEESD86D1D02
	Default settings used Yes

RUN DETAILS

Name	
Description	
OPENCL DEVICES	
Video Chat v2 Accelerated OpenCL 1.1 Device	Not in use
Spreadsheet Accelerated OpenCL 1.1 Device	Intel(R) Corporation Intel(R) HD Graphics 2500
GENERAL	
Operating System	Windows 8.1 Pro 64-bit
Motherboard	Hewlett-Packard 339A
Memory	8192 MB
System Drive Model	ST500DM002-1BD142
PROCESSOR	
Processor	Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz
Reported Stock Core Clock	3200 MHz
Physical / Logical processors	1 / 4
# of cores	4
Package	Socket 1155 LGA
GRAPHICS CARD(S)	
Graphics Card	Intel(R) HD Graphics
Vendor	Intel
Dedicated Graphics Memory	0 MB

Figura A.11: Intel i5-3470 PCMark 8 (Work Accelerated)

4067 with Intel(R) HD Graphics 4000 and Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz

Benchmark duration	30 min 13 s	Web Browsing - JunglePin	0.29601 s	Web Browsing - Amazonia	0.13031 s
Writing	4.03464 s	Video Chat v2 / Video Chat playback 1 v2	30.01 fps	Video Chat v2 / Video Chat encoding v2	54.33333 ms
Spreadsheet	5.60623 s				

DETAILS	SETTINGS
SystemInfo Version	4.26.386
UI Version	2.0.228.0
Test Version	2.0.0
Date	June 8 2014
Id	27CFE83A-44A2-4C24-B7BC-1DE159A4A3E1
	Default settings used Yes

RUN DETAILS

Name	
Description	
OPENCL DEVICES	
Video Chat v2 Accelerated OpenCL 1.1 Device	Not in use
Spreadsheet Accelerated OpenCL 1.1 Device	Intel(R) Corporation Intel(R) HD Graphics 4000
GENERAL	
Operating System	Windows 8.1 Pro 64-bit
Motherboard	Hewlett-Packard 339A
Memory	8192 MB
System Drive Model	ST500DM002-1BD142
PROCESSOR	
Processor	Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz
Reported Stock Core Clock	3400 MHz
Physical / Logical processors	1 / 8
# of cores	4
Package	Socket 1155 LGA
GRAPHICS CARD(S)	
Graphics Card	Intel(R) HD Graphics 4000
Vendor	Intel
Dedicated Graphics Memory	0 MB

Figura A.12: Intel i7-3770 PCMark 8 (Work Accelerated)

A.3 PassMark 8

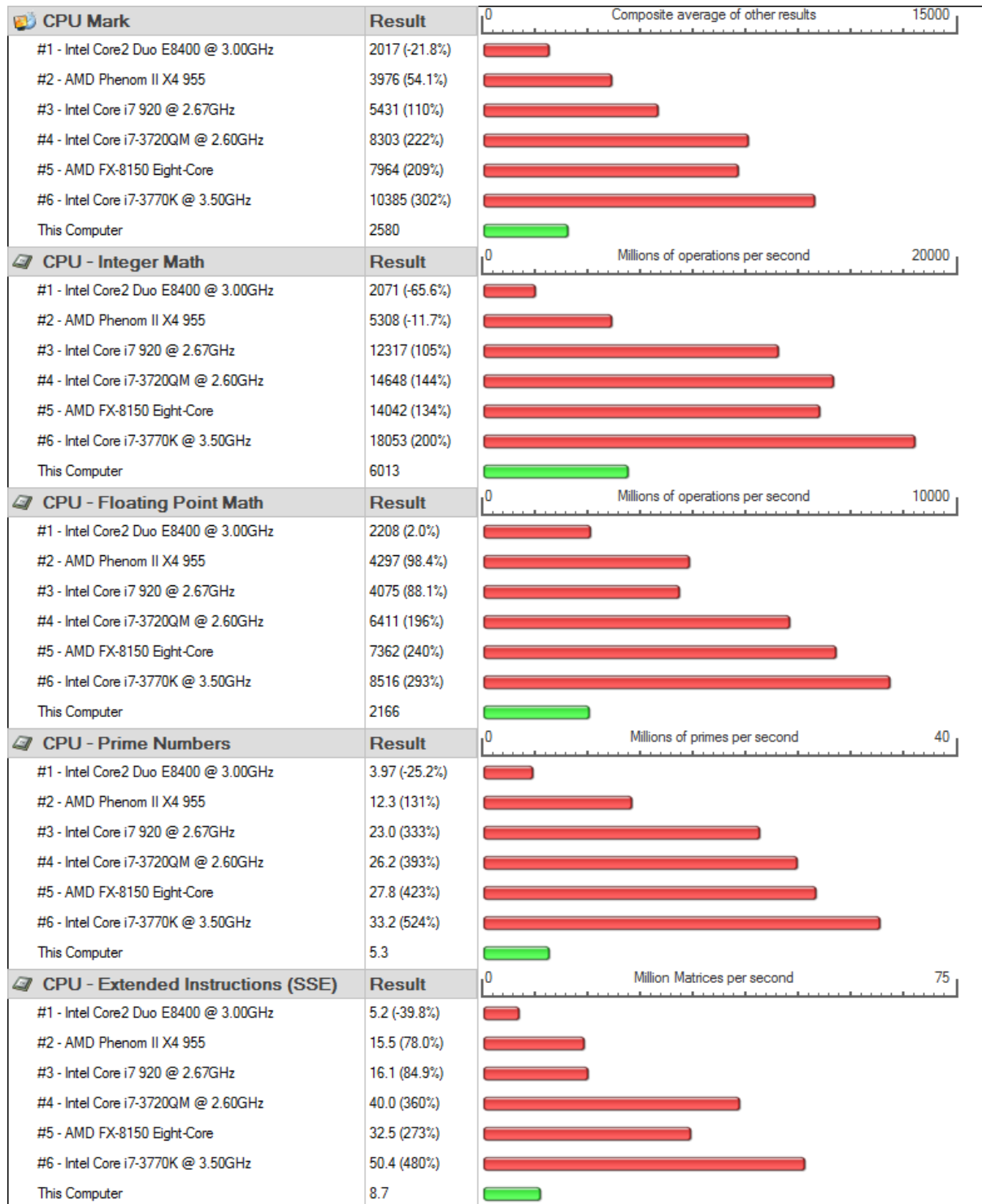


Figura A.13: AMD A6-6400 PassMark 8 (CPU)

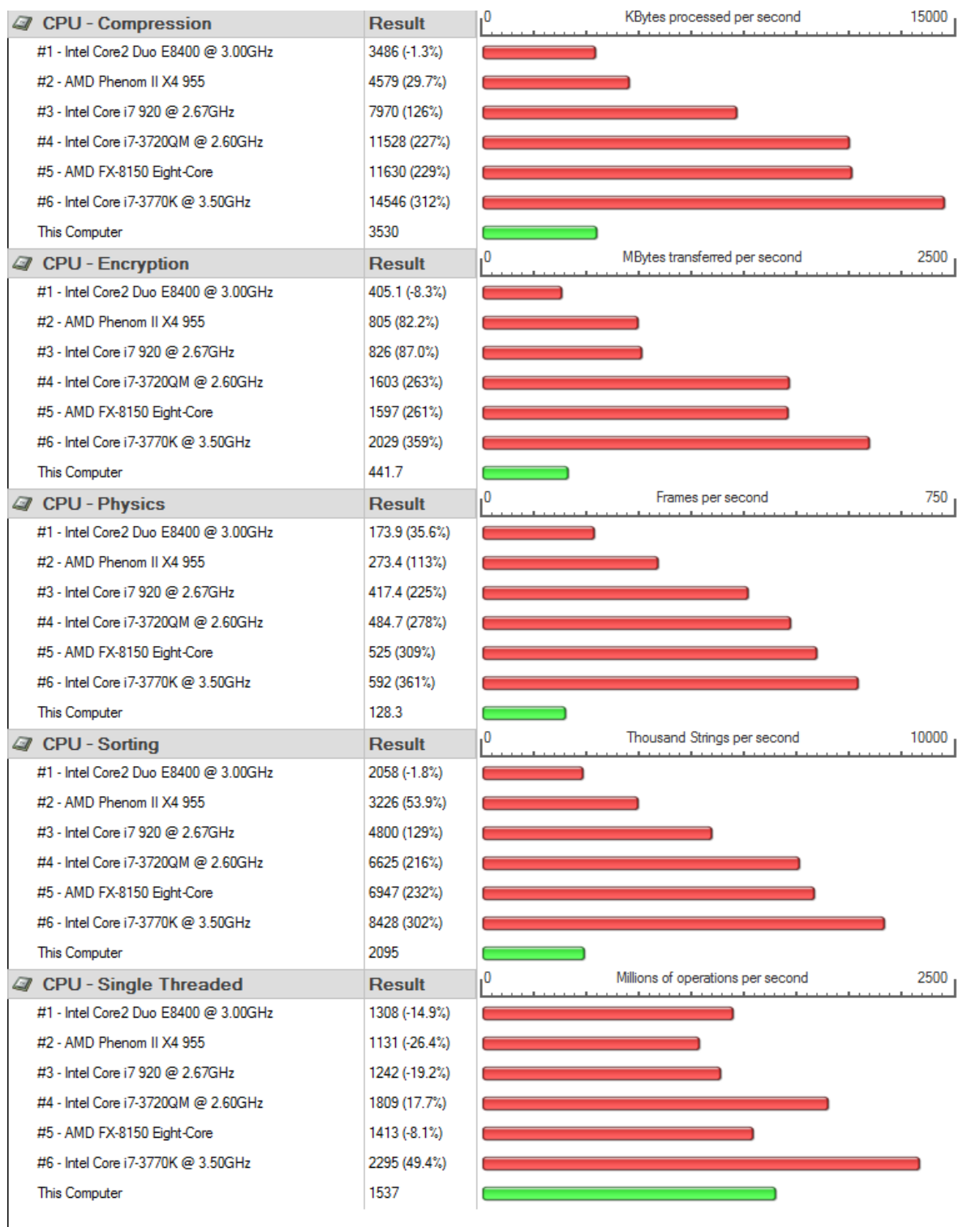


Figura A.14: AMD A6-6400 PassMark 8 (CPU) - Continuação

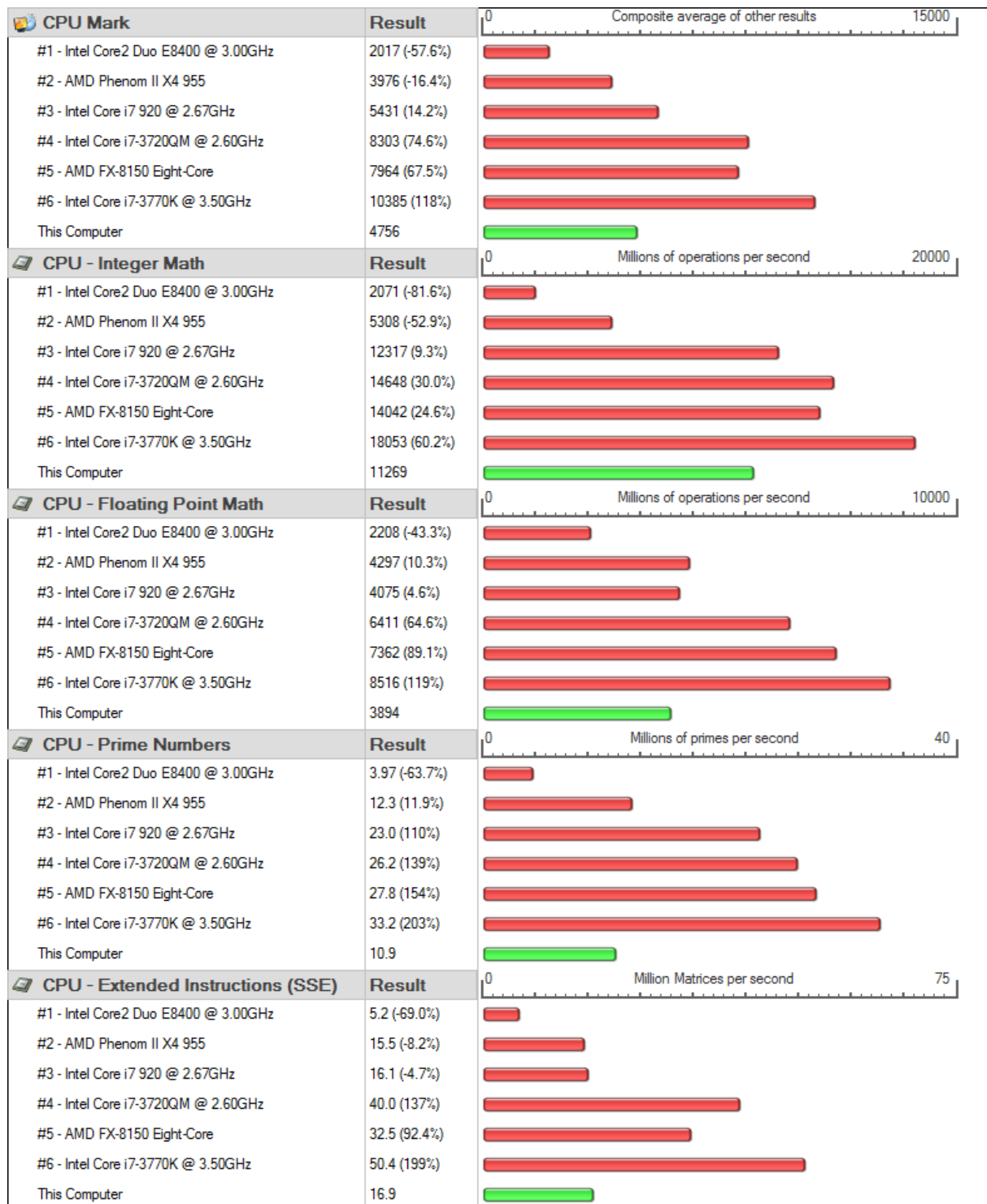


Figura A.15: AMD A8-6500 PassMark 8 (CPU)

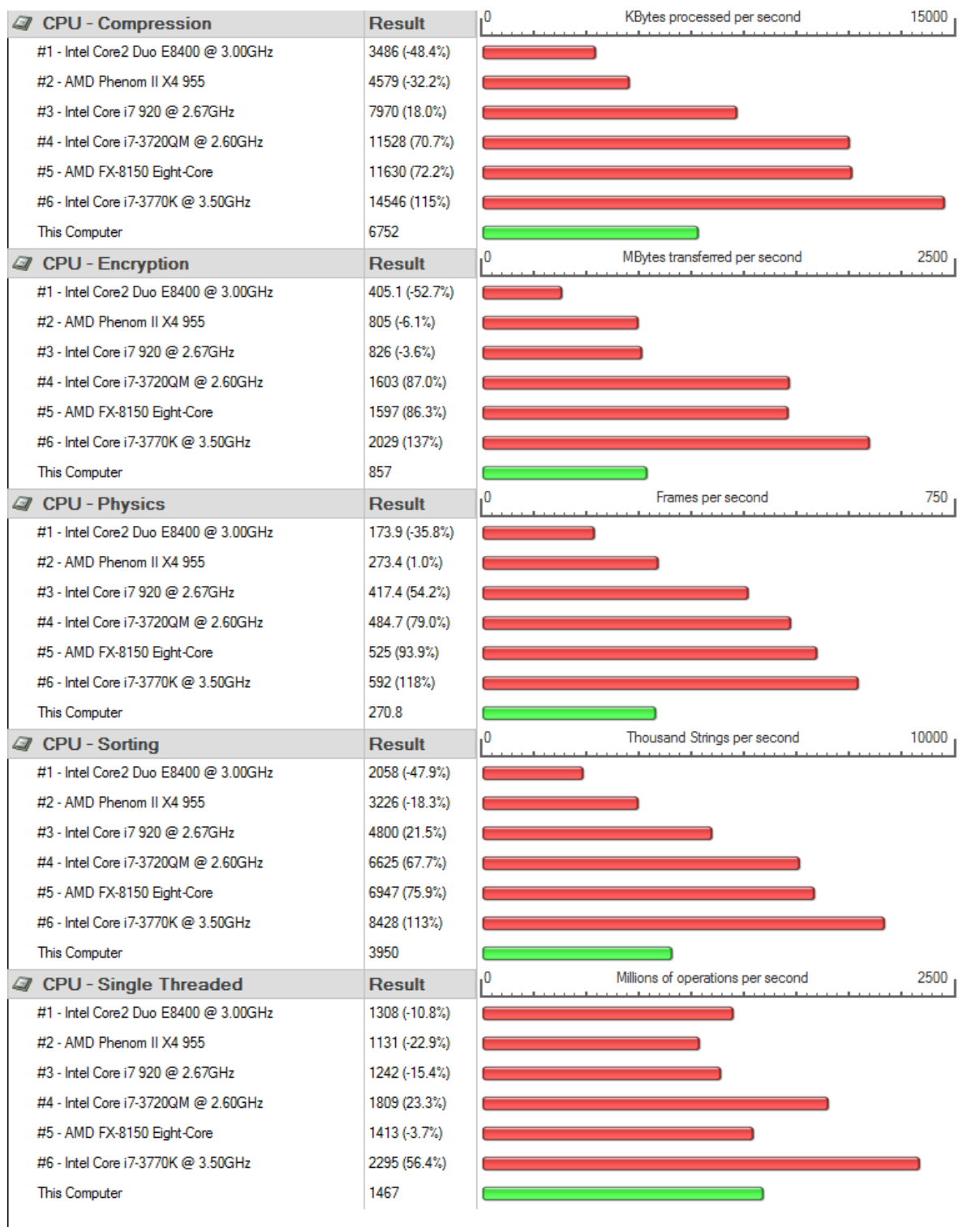


Figura A.16: AMD A8-6500 PassMark 8 (CPU) - Continuação

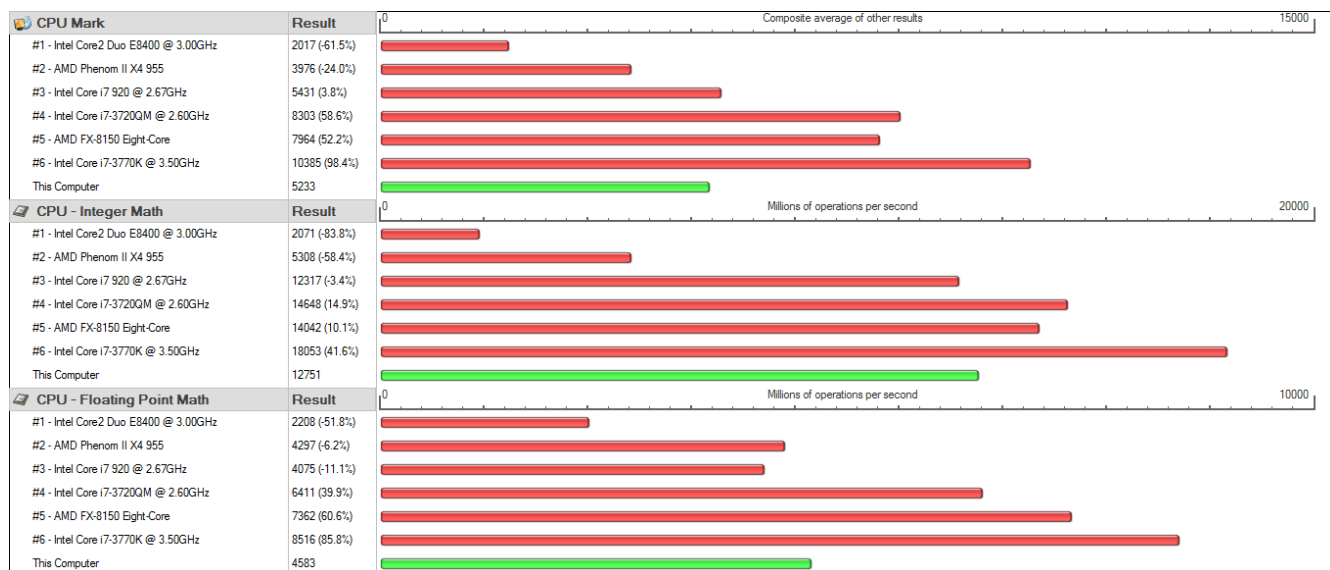


Figura A.17: AMD A10-6800 PassMark 8 (CPU)

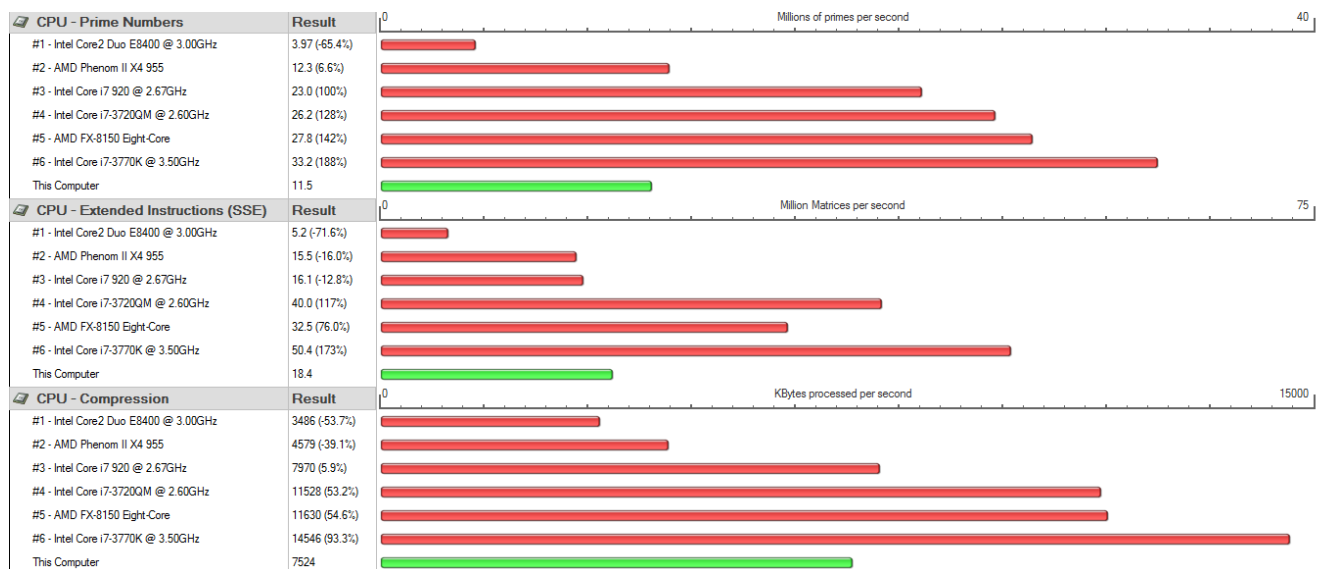


Figura A.18: AMD A10-6800 PassMark 8 (CPU) - Continuação

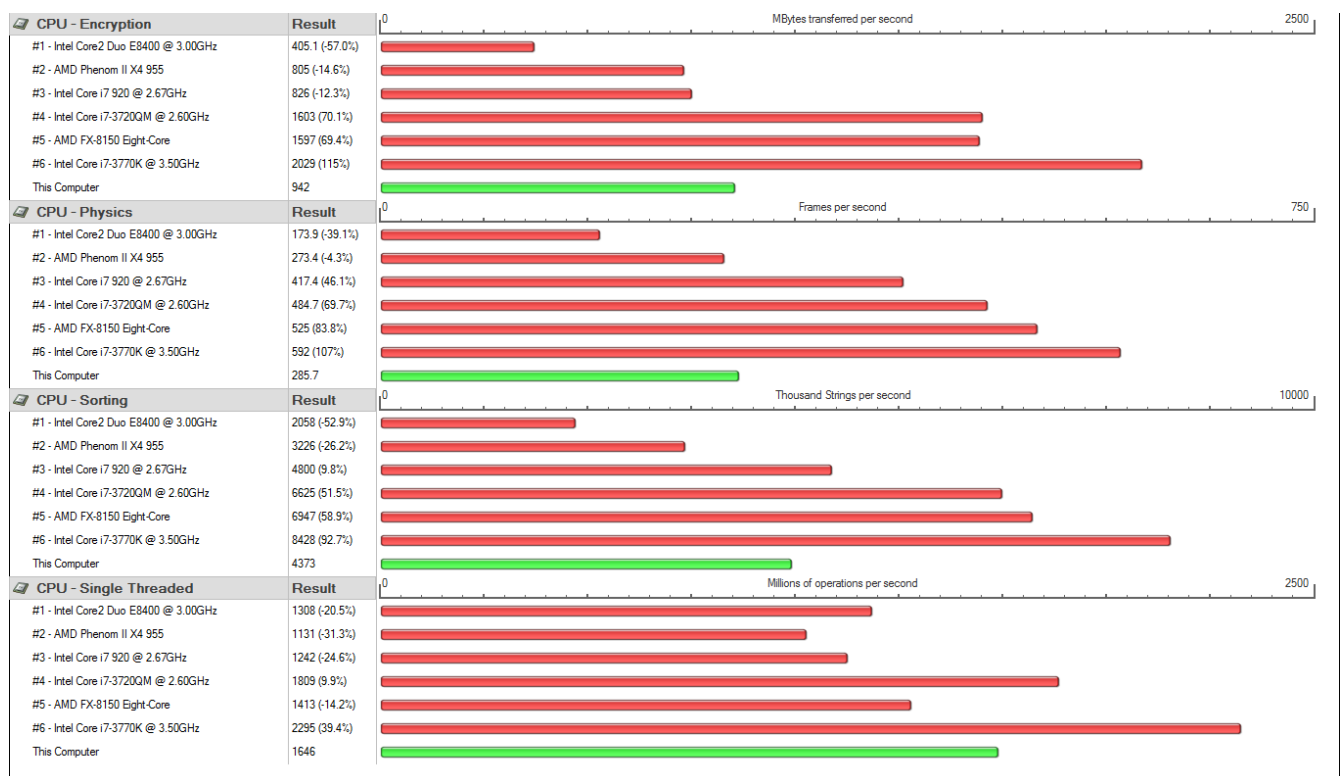


Figura A.19: AMD A10-6800 PassMark 8 (CPU) - Continuação

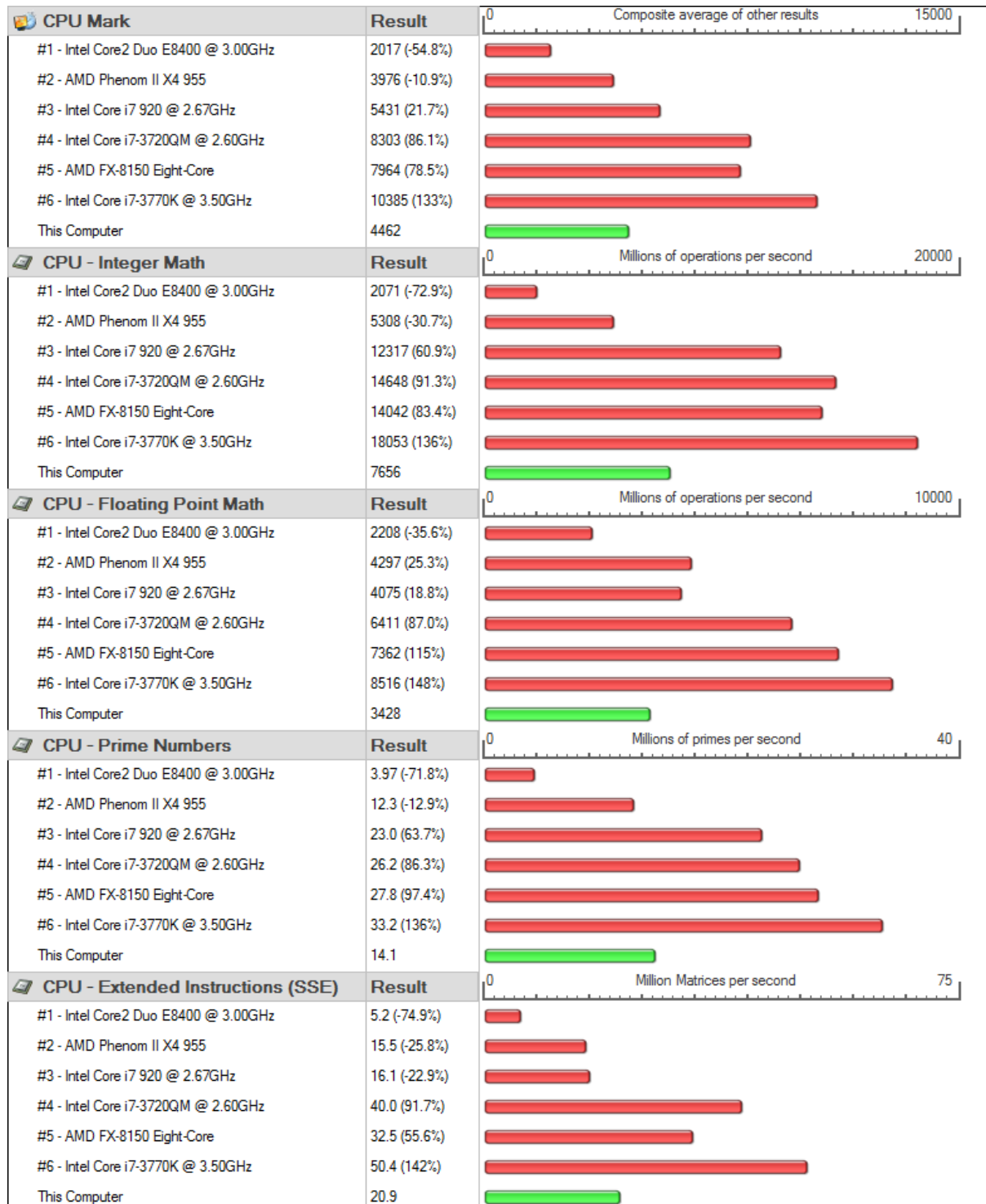


Figura A.20: Intel Core i3-3220 PassMark 8 (CPU)

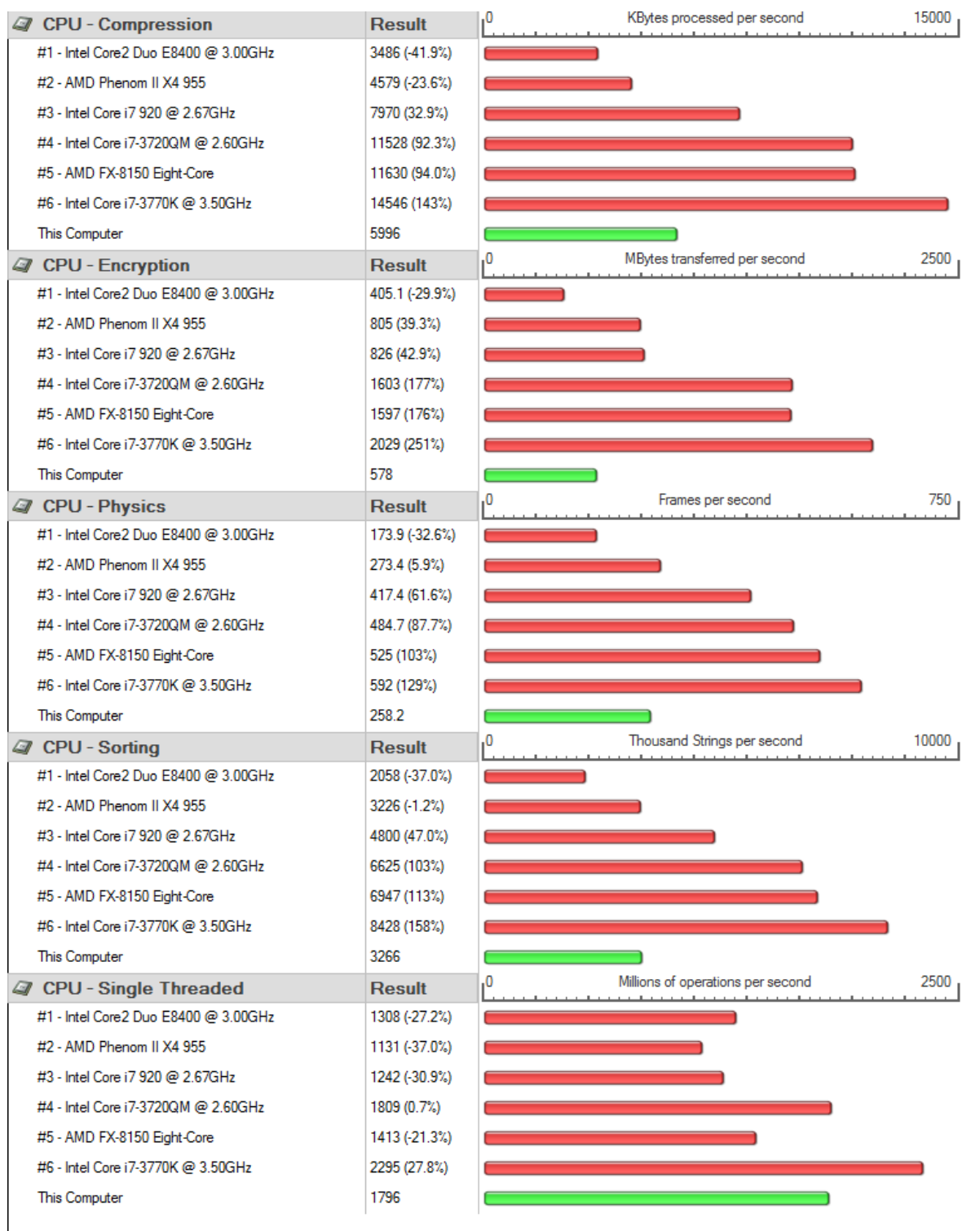


Figura A.21: Intel Core i3-3220 PassMark 8 (CPU) - Continuação

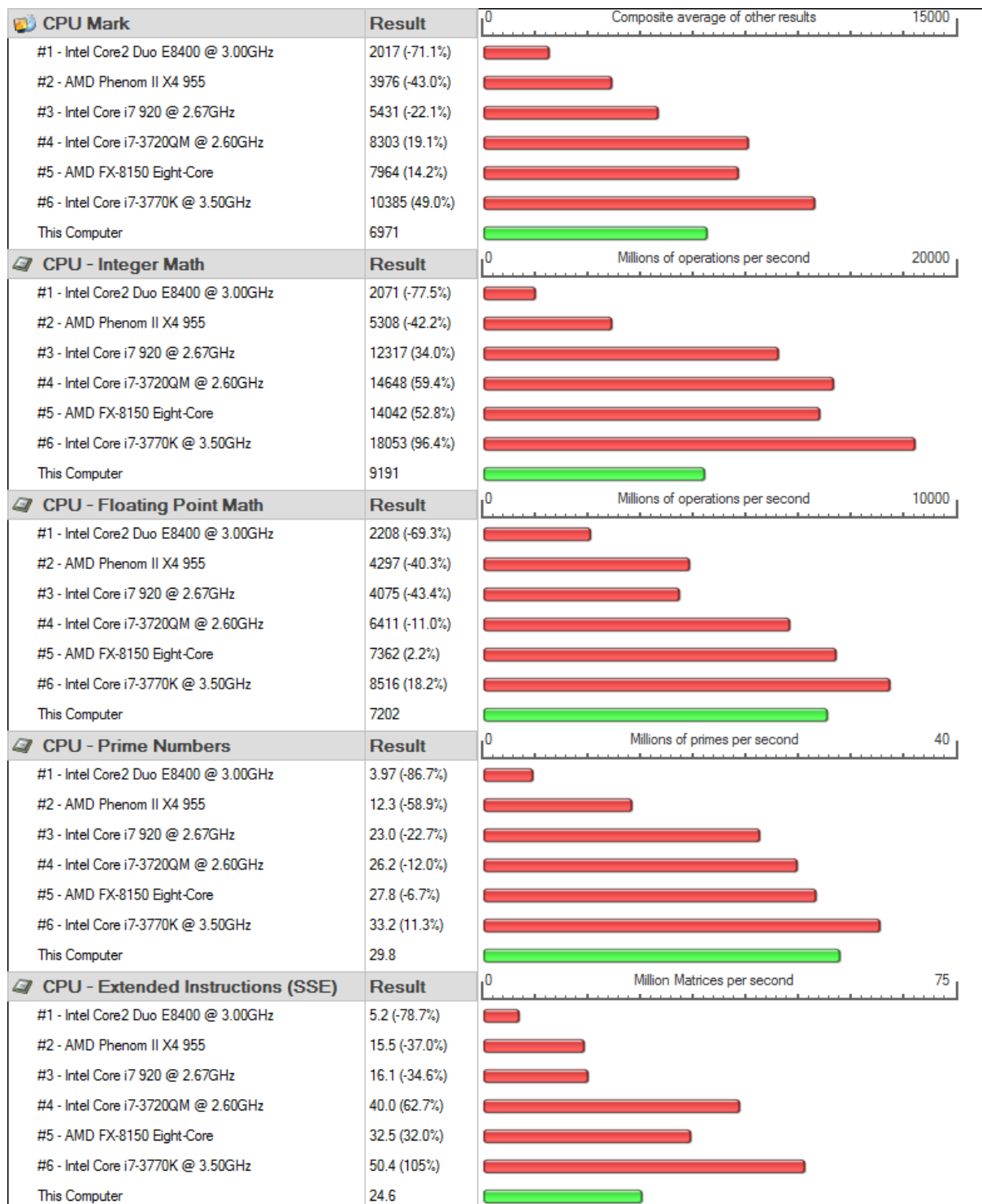


Figura A.22: Intel Core i5-3470 PassMark 8 (CPU)

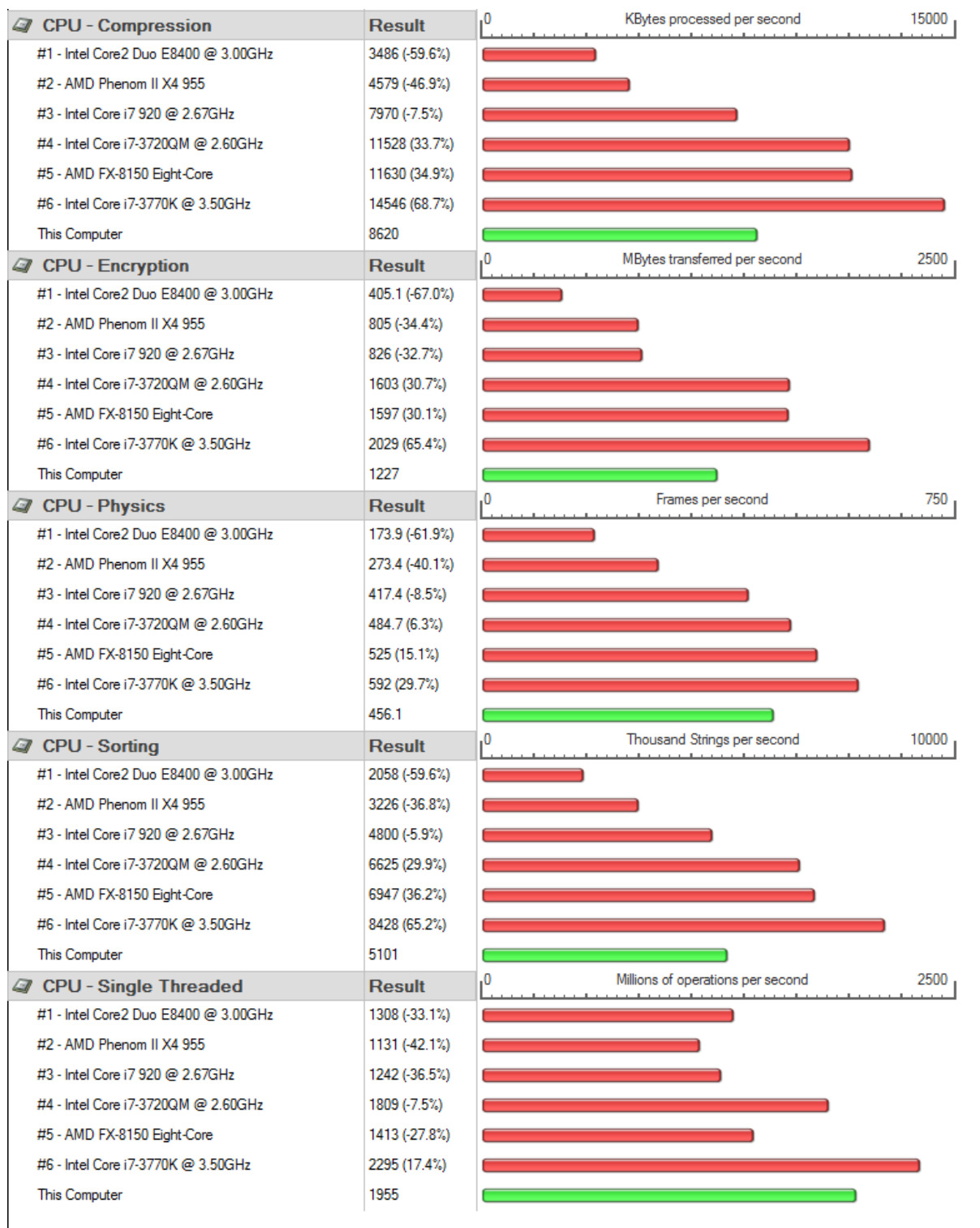


Figura A.23: Intel Core i5-3470 PassMark 8 (CPU) - Continuação

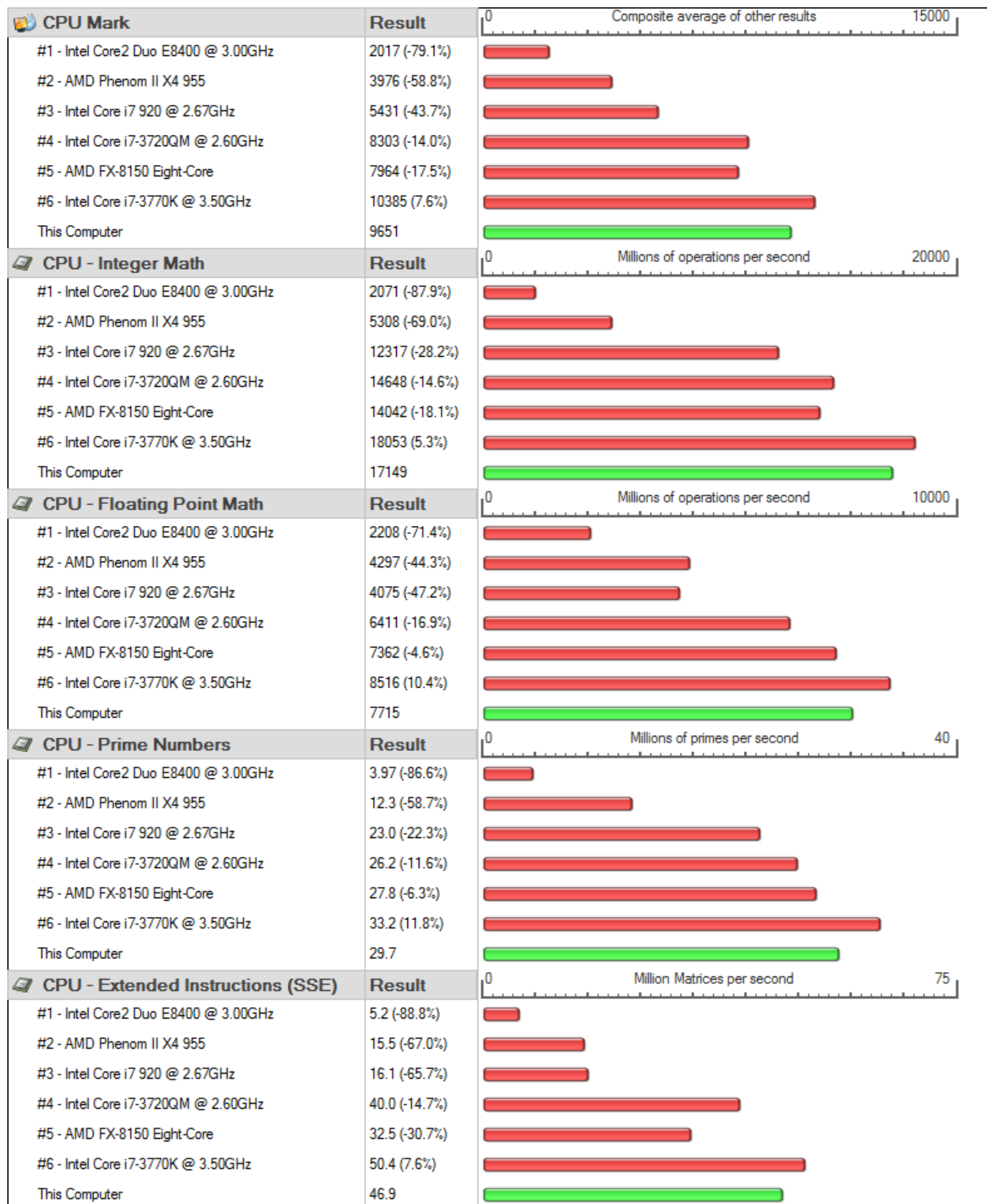


Figura A.24: Intel Core i7-3770 PassMark 8 (CPU)

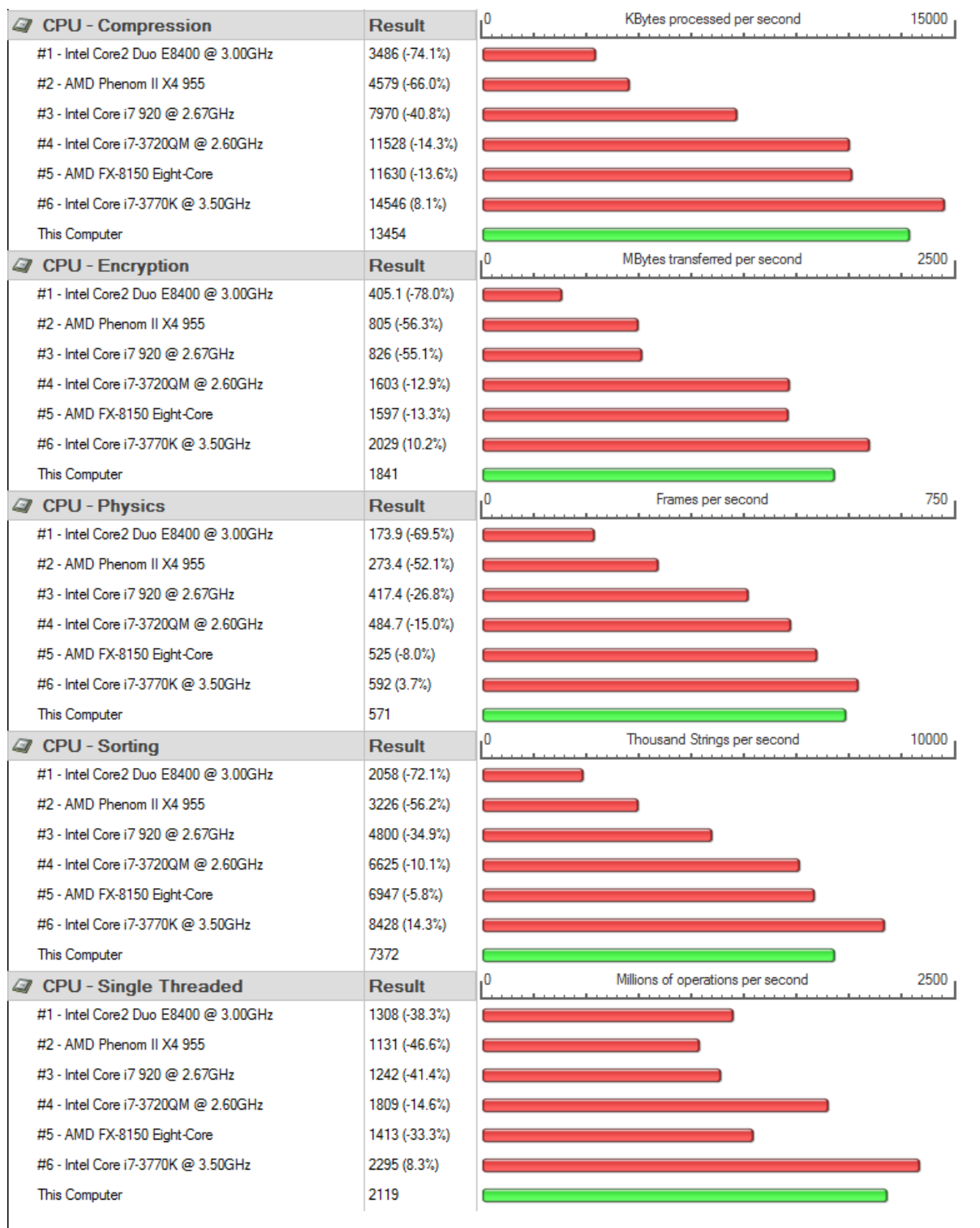


Figura A.25: Intel Core i7-3770 PassMark 8 (CPU) - Continuação